



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för skogsekonomi

Ledtider i sågverksindustrin – en analys av flöden och processer

*Lead times in the sawmill industry
- an analysis of flows and processes*

Kristin Olovsson

Examensarbete • 30 hp

Jägmästarprogrammet
Examensarbeten, Nr 16
Uppsala 2020

Ledtider i sågverksindustrin – en analys av flöden och processer

*Lead times in the sawmill industry
– an analysis of flows and processes*

Kristin Olovsson

Handledare: Anders Roos, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsekonomi
Examinator: Cecilia Mark-Herbert, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsekonomi

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E
Kurstitel: Examensarbete i skogsvetenskap
Kursansvarig inst.: Institutionen för skogsekonomi
Kurskod: EX0976
Program/utbildning: Jägmästarprogrammet

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2020
Serietitel: Examensarbeten
Delnummer i serien: 16
Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: EPQ, lead time mapping, optimal batch size, production planning, sawmill, stop time analysis, value flow mapping, ekonomisk produktionskvantitet, ledtidskartläggning, processkartläggning, produktionsplanering, stopptidsanalys, sågverk

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogsekonomi

Sammanfattning

Den skogliga råvaran är en viktig del i ett mer hållbart samhälle, samt för Sveriges fortsatta välfärd. De sågade produkterna som vidareförädlas till limträbjälkar och korslimmade väggelement, är viktiga delar för ett ökat byggande i trä. Samtidigt möter sågverksindustrin många utmaningar för att fortsatt vara konkurrenskraftiga, med krav om en ökad flexibilitet och leveranssäkerhet. Några av utmaningarna sågverksindustrin har är de divergerade flöden och de långa ledtiderna. Divergerade flöden förekommer både vid timmermätningen, vid sågningen och i justerverket och leder till att det uppstår flera konsekvensprodukter då en efterfrågad produkt tas fram. Sågverkets ledtider är långa, vilket gör dem sårbara för förändringar i efterfrågan. Reducerade ledtider skulle göra anläggningen flexiblare, frigöra kapacitet, reducera lagervolym och frigöra kapital.

Syftet för den här studien var att identifiera åtgärder i ett sågverks system för att reducera den totala ledtiden. Studiens frågeställningar var följande:

- Hur skiljer sig ledtiden mellan olika sortiment?
- Vilka stoppsaker kan identifieras?
- Vilken är den teoretiskt bästa produktionsvolymen per parti?

Metoden delades upp i tre angreppssätt, där det första var att göra en processkartläggning, för att identifiera sågens processer och ledtider. I det andra steget analyserades stoppsakerna och stopptiderna för sågen och justerverket, dels statistiskt, dels förklarande genom intervjuer. Den sista metoden som applicerades var beräkningar för att identifiera den ekonomiskt optimala sågningsvolymen per körning.

Studien resulterade i ett flödesschema över sågverket i Heby, samt ett ledtidsdiagram. Ledtidsdiagrammet visade att den största delen av tiden för produkterna var i råvarulager. Stopptidsanalysen visade att två stoppsaker på sågen förekom mer än övriga, medan det var tre stoppsaker som var vanligare på justerverket. Beräkningen för den ekonomiskt optimala volymen för varje sågkörning visade att det generellt sett var mer lönsamt att köra längre körningar, jämfört med volymen som sågades idag.

Nyckelord: ekonomisk produktionskvantitet, ledtidskartläggning, processkartläggning, produktionsplanering, stopptidsanalys, sågverk

Summary

The forest products are an important part of a more sustainable society and for Sweden's continued welfare. The sawn products refined to glulam beams or cross-laminated wall elements, are important for further building in wood. At the same time the sawmill industry is heading many challenges to continue to be competitive by increase their flexibility and deliver reliability. One of the challenges the sawmill industry is facing are the divergent flows which occur in both the measuring of timber, sawing and in the sorting. Those flows result in different consequence products while producing a specific product. The sawmills lead times are long, which makes them vulnerable to changes in demand. Reduced lead times would make the facility more flexible, release capacity, reduce the stock volume and release capital.

The aim of this study was to identify acts at a sawmill to reduce the total lead time. The questions of the study were the following:

- How does the lead time differ between the dimensions?
- Which stop causes can be identified?
- Which is the theoretical optimal production volume per run?

The methods were divided in three approaches, where the first was to map the processes, to identify the processes and the lead times. In the second step the stop and the stop times for the saw and the sorting mill were analysed, both statistical and more explaining by interviews. The last method approach were calculations to identify the economical optimal sawing quantity per run.

The study resulted in a flowchart of the sawmill in Heby and a chart of the lead time. The lead time-chart showed that the major part of the time for the products were in the storage of raw material. The stop time analysis showed that two stop causes were more frequented in the saw, while it was three stop causes which were more common in the sorting mill. The calculation for the optimum volume of a sawing run indicated that overall it was more profitable to saw long runs, compared with the volume sawn today.

Key words: *EPQ, lead lime mapping, optimal batch size, production planning, sawmill, stop time analysis, value flow mapping*

Förord

Efter drygt fem år på jägmästarprogrammet avslutar det här examensarbetet mina universitetsstudier och jag är förhoppningsvis redo att ge mig ut i arbetslivet.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare på SLU, Anders Roos, för ett stort engagemang genom hela arbetet och värdefulla kommentarer och diskussioner. Samt ett stort tack till hela kontoret och operatörer i Heby som svarat på frågor, förklarat och uppmuntrat.

Uppsala, januari 2020

Kristin Olovsson

Förkortningar och begrepp

Här förklaras förkortningar och specifika ord för arbetsområdet.

Flödesekonomi	<i>Det svenska begreppet för engelskans Supply Chain Management. Vilket är samspelet mellan olika aktörer som verkar för att tillgodose en efterfrågan.</i>
Inkurans	<i>Skador på virke eller timmer som uppkommer vid för lång lagring, kan vara i form av insekts- eller svampangrepp.</i>
KL-trä	<i>Korslimmat trä är sammanfogade plankor eller brädor, som limmas så att fiberriktningen korsar varandra. Dessa kan sedan bearbetas till önskad dimension och utformning för att bilda bärande väggelement.</i>
Limträ	<i>Plankor eller brädor som är sammanfogade genom fingerskarvning och limning för att bilda större element, till exempel balkar.</i>
m³sv	<i>Enhet för sågade trävaror - kubikmeter sågad vara.</i>
Paket	<i>Plankor eller brädor som är strölagda och ibland täckta med plast.</i>
Parti	<i>Det svenska begreppet för en batch, som är den mängd som produceras eller köps in under en viss tid.</i>
Postning	<i>Bestämning av hur en stock sönderdelas till plankor och brädor efter ett geometriskt mönster.</i>
Sågutbyte	<i>Utfallet vid sågning, angiven i procent, i förhållande till volmen som sågats.</i>
Verksamhetsstyrning	<i>Det svenska begreppet för Operation Management. Utformningen av ett system som producerar produkter eller tjänster.</i>
Värdekedja	<i>Processer som integrerar med varandra för att skapa produkter eller tjänster.</i>

Innehållsförteckning

1	INTRODUKTION	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	PROBLEMBAKGRUND	1
1.2.1	Öka produktfokus	1
1.2.2	Divergerade flöden.....	2
1.2.3	Motiv för lager.....	2
1.2.4	Ledtider	2
1.3	SYFTE	3
1.4	AVGRÄNSNINGAR	3
1.5	UPPDRAG	3
1.6	DISPOSITION	4
2	LITTERATURÖVERSIKT	5
3	TEORI	8
3.1	FLÖDESEKONOMI	8
3.1.1	Dragande och tryckande produktion.....	9
3.1.2	Prognostisering	9
3.2	VERKSAMHETSSTYRNING	9
3.3	STRATEGISK PLANERING	10
3.3.1	Cyklisk planering.....	10
3.3.2	Flaskhalsar.....	10
3.4	TIDSPLANERING	10
3.5	LAGER	11
3.6	LEDSTYRNING	12
3.6.1	Överlappning.....	12
3.6.2	Orderklyvning.....	12
3.6.3	Optimal partistorlek	12
3.7	LEAN PRODUKTION.....	13
3.7.1	Koncept inom lean.....	14
3.7.2	Ställtidsreduktion.....	15
3.8	PROCESSKARTLÄGGNING	16
3.9	TEORETISKT RAMVERK	17
4	METOD	18
4.1	FALLSTUDIE.....	18
4.2	SYSTEMGRÄNSER.....	18
4.3	DATAINSAMLING	19
4.3.1	Produktionsdata	19
4.3.2	Intervjuer.....	19
4.4	TRE ANGREPPSSÄTT	20
4.4.1	Processkartläggning.....	21
4.4.2	Stopptidsanalys.....	21
4.4.3	Optimal partistorlek	22
4.5	RELIABILITET OCH VALIDITET.....	23
4.6	ETISKA AVVÄGANDEN	24
5	BAKGRUND OM SÅGVERK OCH SETRA GROUP	25
5.1	SÅGVERK	25
5.2	SETRA GROUP	26

5.3 SETRA I HEBYS PLANERINGSSTRATEGI.....	27
6 RESULTAT OCH ANALYS.....	29
6.1 PROCESSKARTLÄGGNING.....	29
6.2 STOPPTIDSANALYS.....	33
6.2.1 <i>Stopp i sågen</i>	34
6.2.2 <i>Stopp i justerverket</i>	36
6.3 OPTIMAL PRODUKTIONSKVANTITET.....	39
7 DISKUSSION.....	42
7.1 RESULTAT- OCH ANALYSDISKUSSION	42
7.1.1 <i>Hur skiljer sig ledtiden mellan olika sortiment?</i>	42
7.1.2 <i>Vilka söpporsaker kan identifieras?</i>	42
7.1.3 <i>Vilken är den teoretiskt optimala produktionsvolymen per parti?</i>	43
7.2 METODDISKUSSION.....	44
8 SLUTSATSER	45
8.1 GENERALISERINGAR OCH STUDIENS BIDRAG.....	45
8.2 VIDARE STUDIER.....	46
9 REFERENSER	47
BILAGOR	50

Figur- och tabellförteckning

Figurer

Figur 1, Studiens disposition.....	4
Figur 2, Lagerförändring vid produktion enligt EPQ, bilden är gjord med inspiration från (Krajewski et al. 2013) och (Olhager 2013).....	13
Figur 3, Deming-cykels fyra steg för förbättringsåtgärder.....	14
Figur 4, Tolkning av Olhagers (2013) syn på processflödesanalys.....	16
Figur 5, Det teoretiska ramverket som beskriver inom vilken del av arbetet som teorierna används.....	17
Figur 6, Målet för arbetet i mitten som angrips genom att identifiera stopptiderna, ledtiderna och den optimala partistorleken.....	20
Figur 7, Delprocesser vid sågverket.....	25
Figur 8, Ett postningsalternativ som ger två plankor som centrumutbyte och fyra brädor.....	25
Figur 9, De divergerade flödena vid inmätningen, sågningen och i justerverket.....	26
Figur 10, Produktionen av plankor och brädor går över till att vara kunddriven i sista steget mot kund, innan dess är det en tryckande process.....	27
Figur 11, Flödesschema över sågverkets struktur för processer och beslut. Beteckningarna är till stor del hämtade från Olhager (2013).....	29
Figur 12, Ledtidskartläggning av de studerade dimensionerna, de horisontella linjerna representerar processer, medan de vertikala visar tid i lager.....	31
Figur 13, De studerade sortimentens genomsnittliga ledtid per order uttryckt i timmar.....	32
Figur 14, Genomsnittliga stopptider i såg och justerverk per order.....	33
Figur 15, Diagrammet visar stopptiden och antalet stopp i sågverket under 2018.....	34
Figur 16, Pareto-diagram som visar vilka stopporsaker som bidrar mest till den stillastående tiden för sågverket.....	35
Figur 17, Ishikawadiagram över möjliga orsaker till långa stopptider i sågen.....	36
Figur 18, Justerverkets stopporsaker på den horisontella axeln, där stolparna visar stillastående tid, medan linjen redovisar antalet stopp.....	37
Figur 19, Pareto-diagram över justerverkets stopporsaker, där den gröna linjen visar den ackumulerade procentuella stopptiden.....	37
Figur 20, Ishikawadiagram över möjliga orsaker till långa stopptider i justerverket.....	38

Tabeller

Tabell 1, Dimensioner som levererats till Långshyttan från Heby. De presenteras i millimeter och avser tjocklek och bredd, olika längder förekommer för varje dimension.....	18
Tabell 2, Antalet order per dimension under 2018 i sågen respektive justerverket.....	21
Tabell 3, nyckeltal för Setra group 2018 (Setra Group 2018).....	27
Tabell 4, Ledtiden uttryckt i dagar för de studerade sortimenten, samt den värdeskapande tiden.....	32
Tabell 5, Stopptider för sågverk och justerverk.....	33
Tabell 6, Sammanställning av resultat erhållna av beräkningen för optimal produktionskvantitet för sågen.....	40
Tabell 7, Den optimala partistorleken (m^3 sv) för olika efterfrågan, ställkostnader och lagerkostnader.....	41
Tabell 8, Den totala årliga kostnaden (kr) för olika efterfrågan, ställkostnader och lagerkostnader.....	41

1 Introduktion

Introduktionskapitlet ger först en bred beskrivning av de sågade produkternas betydelse för Sverige och dess inverkan på klimatet. För att sedan i problembakgrunden gå in på de utmaningar som finns inom sågverksindustrin med bland annat divergerade flöden och långa ledtider.

1.1 Bakgrund

Sverige är världens näst största exportör av sågad trävara och även en av de större producenterna i världen (Skogsindustrierna a. 2019). De skogliga produkterna är viktiga för Sverige ur både en ekonomisk synvinkel och för sysselsättningen (Skogsindustrierna b. 2019). Skogen har även en betydande roll i ett mer hållbart samhälle, som en ersättare till plast och genom trädens möjlighet att binda koldioxid (Svenskt Trä u.å.; IPCC 2019 s. 25). Nettoutsläppen för den svenska skogssektorn var 2015 minus 27,9 miljoner ton koldioxidekvivalenter, alltså lagrades mer kol in i den stående skogen och i träbaserade produkter, än vad produktionen av dessa släppte ut (Iordan *et al.* 2018). En trend inom den svenska skogssektorn är att emissionerna minskat sedan 1990-talet och genom den stående skogens nettotillväxt förutsägs Sveriges kolsänka att öka ytterligare (Hagberg *et al.* 2008). Samtidigt bidrar avskogningen i andra delar av världen till fortsatta utsläpp av växthusgaser, aktiviteter i jordbruket och avskogning beräknas stå för 23 % av världens utsläpp (IPCC 2019 s. 7). För ökad kolinlagring framhävs vikten av ett hållbart skogsbruk med återplantering och att använda träbaserade produkter som kan lagra in kol under en lång tid.

IPCC (2019 s. 25) visar på nyttan att använda träprodukter, eftersom de utgör en långsiktig kolinlagring. Vid en jämförande livscykelanalys mellan stålbalkar och limträbalkar var det inte bara kolinlagringen som talade för limträ, utan vid produktionen var energiförbrukningen lägre, användning av fossila bränslen mindre, samt koldioxidutsläppen lägre (Petersen & Solberg 2002). Ett relativt nytt byggnadsmaterial av trä är **KL-trä** (Korslimmat trä), som utvecklades i Österrike under 90-talet och produceras på flera ställen i Sverige (Svenskt Trä 2017). Det anses vara en viktig del för att ytterligare kunna minska byggandet i betong, genom att bärande element av betong kan ersättas med bärande väggelement av KL-trä. För även om endast mindre delar av byggnaden har betongelement, påverkar det byggnadens klimatpåverkan (Larsson *et al.* 2016 s. 37).

1.2 Problembakgrund

1.2.1 Öka produktfokus

Traditionellt sett har aktörerna i skogssektorn till stor del fokuserat på att minska kostnaderna, med målet att öka marginalerna (Guimier & Favreau 2009). För träindustrin utgörs den största utgiften av råvaruinköp. En studie av FPInnovations (2009) påvisar att istället för att fokusera på att minska kostnaderna, kan skogssektorn ha mycket att vinna genom att bli mer produktorienterade, genom att producera mer vidareförädlade och dyrare produkter. Den strategin fungerar då kunden efterfrågar produkter med hög kvalitet och är beredd att betala för dem. Då kan sågverket köpa in mer kvalitativ och dyrare råvara och erhålla en bättre slutprodukt. Produkten kan då säljas till ett högre pris och marginalerna sett till hela kedjan ökar. Studier har även visat att ökat värde på produkten bidrar mer till en ökad lönsamhet, jämfört med ökad produktivitet och ökad kvantitet (Roos *et al.* 2001).

1.2.2 Divergerade flöden

Planeringen för ett sågverk är komplex på flera sätt, eftersom divergerade flöden uppstår i flera processer (Haartveit *et al.* 2004). Redan i skogen fördelas trädet till olika sortiment, beroende på diameter och längd. Väl inne i sågverket delas timret upp ytterligare, i plank och brädor av olika dimension, längd och kvalitet. I alla dessa steg bildas biprodukter, till exempel flis och spån, som måste hanteras och säljas vidare. Förutom biprodukter och långa ledtider måste planeringen även beakta säsongsvariationer i efterfrågan, varierande råvarukvalitet och årstidsberoende markförhållanden i beaktning (Rådström & Thor 2014).

1.2.3 Motiv för lager

Sågverksindustrin arbetar generellt med stora råvarulager (Markgren & Lycken 2001). Lager finns förutom som råvarulager, även som halvfärdiga produkter i produktionskedjan och som färdigvarulager (Olhager 2013 ss. 32–33). Ett av de grundläggande syftena med lager är att minska påverkan av variationer i verksamheten, samt för att dra nytta av stordriftsfördelar. Variationen kan dels vara i efterfrågan, men kan även förekomma som variation i produktionstillgänglighet. Lager för halvfärdiga produkter inom systemet syftar till att varje enhet, i det här fallet sågen, torken, justerverket, ska kunna optimera sin process, utifrån det lager som finns och leverera till nästa steg i systemet.

Lägre lagernivåer av det cykliska lagret eftersträvas för att företaget ska kunna möta förändringar i efterfrågan utan att binda upp kapital (Chopra & Meindl 2016 s. 62). Vidare måste lagren begränsas eftersom trä är en färskvara och risken för inkurans ökar med stora lager (Markgren & Lycken 2001). Företaget behöver också se till att helheten optimeras och inte endast varje del i kedjan. (Chopra & Meindl 2016 s. 62).

Det finns även mer oförutsedda händelser som kan påverka råvarutillgången och därmed sågverkets planering, som stormskador och insektsangrepp. Insektsangrepp har 2019 bidragit till att sågverkens planeringen för råvara varit svårare, eftersom många skogsägare drabbats av barkborreangrepp och därmed varit tvungna att avverka skog i förtid (Moll 2019). Samtidigt har stora delar av Europa också drabbats, vilket gör att tillgången på grantimmer är extra stor, vilket lett till att vissa industrier till och med ställt om från att såga tall till att såga gran (Hedlund 2019). För trots att flera verktyg används för planeringen av sågverkets flöden gör de långa ledtiderna att värdekedjan är känsliga för snabba förändringar (Haartveit *et al.* 2004). Dessutom regleras osäkerheten i råvara genom att hålla ett säkerhetslager av timmer, vilket gör att ytterligare material binds i värdekedjan (Chopra & Meindl 2016).

1.2.4 Ledtider

Ledtiden är den tid det tar från att en efterfrågan har uttryckts till samma efterfrågan är tillgodosedd (Krajewski *et al.* 2013 s. 29). Ledtiden har även en korrelation till lager och kapacitetsbeläggning, där en kortare ledtid leder till minskade lager och frigör kapacitet (Olhager 2013 s. 478). Sågverken är generellt sett produktionsinriktade och ett sätt att istället fokusera på kunderna och öka leveranssäkerheten är att korta ledtiden (Haartveit *et al.* 2004). Kortare ledtider ger också flexibilitet i förhållande till kundens önskemål, minskade lagervolymer i hela värdekedjan och snabbare anpassning till förändrad efterfrågan.

Ledtider kan även ses som ett system med enheter i kö som påverkas av variansen i kötiden (Little 1960), Wallace *et al.* (1990) bygger vidare på det genom att visa på sambandet mellan ledtidens standardavvikelse och lagerstorleken. Alltså skulle lagren minska med minskad variation hos ledtiden eller vid en reducerad ledtid.

Kötiden kan alltså ses som en del av ledtiden, alternativt kan hela ledtiden ses som en kö (Haartveit *et al.* 2004). Vid ett sågverk resulterar en variation i efterfrågan, och därmed längre ledtider, till ökade lager, större osäkerhet, samt högre kapacitetsbeläggning. Så det finns stora vinster för ett sågverk i att reducera ledtiden och därmed bli konkurrenskraftigare.

Vid optimering av sågverk har komplex linjärprogrammering använts i stor utsträckning, vilken kan vara svår att applicera. En studie har applicerat den enklare **EOQ**, Economic Order Quantity, för beräkning av optimal order kvantitet. Den studien undersökte den optimala produktionskvantiteten för kabeltrummor. Ledtidskartläggning av den skogliga värdekedjan har utförts på företag i Kanada och analyser av stopptider har utförts i flera olika typer av producerande industrier, däribland hos några sågverk. Kunskapsluckan som identifieras är en applicering av enklare optimeringsverktyg på en svensk sågverksindustri, i syfte att reducera ledtiden.

1.3 Syfte

Fallstudiens syfte är att identifiera åtgärder i ett sågverks system för att reducera den totala ledtiden. Studien avser även att utreda hur produktionsvolymen för varje sågning påverkar ledtiden.

De frågeställningar som undersöks är följande:

- Hur skiljer sig ledtiden mellan olika sortiment?
- Vilka stoppsaker kan identifieras?
- Vilken är den teoretiskt optimala produktionsvolymen per parti?

1.4 Avgränsningar

Arbetet fokuseras på sågverkets processer från det att timret anländer till sågen till att den färdiga produkten når färdigvarulagret, vilket därmed är systemgränserna för det här arbetet. Då sågen producerar många olika sortiment har studien valts att inriktas mot de dimensioner som levererades till Setras limträproduktion i Långshyttan under 2018, vilka presenteras mer i avsnitt 4.2.

1.5 Uppdrag

Studien avgränsas till en fallstudie som undersöker Setras sågverk i Heby. Setra är en svensk sågverkskoncern med sju sågverk och en förädlingsenhet i Sverige, samt en förädlingsanläggning i England (Setra u.å.). I Heby har Setra ett gransågverk som 2018 producerade 227 000 m³, där 50 procent exporterades. Sågen byggdes 1991 och därefter har endast mindre investeringar gjorts.

1.6 Disposition

Arbetet har delats in i nio delar som redovisas i Figur 1. Det kommande avsnittet är en litteraturgenomgång som visar på hur kunskapsläget ser ut idag.



Figur 1. Studiens disposition.

Därefter följer ett teorikapitel där ramverket för studien presenteras. Det visar vilka teorier som knyter an och används i vilken del av arbetet. I metodkapitlet beskrivs studiens använda metoder i den ordning de utfördes, samt de begränsningar som de valda metoderna innebär. Det fjärde kapitlet innehåller den empiriska bakgrunden, med information för studiens förutsättningar och bakgrund till sågverksbranschen. Därefter följer en presentation av de analyser som utförts och vad de resulterat i. I det efterföljande kapitlet diskuteras studiens resultat mot bakgrund av andra studiers, samt hur resultaten kan tolkas, varefter en slutsats presenteras.

2 Litteraturöversikt

Här presenteras det som idag är känt kring det studerade fenomenet, i början presenteras arbeten som använt en liknande metod som det här arbetet. Därefter följer studier av samma problem, men med ett annat metodval. Avsnittet avslutas med att beskriva det kunskapsglapp som den här studien avser att fylla.

Flera studier har utförts på olika nivåer och inom flera branscher kring möjligheterna att reducera ledtiden i produktionen och har visat på nyttan av god förståelse om flödena och noggrann planering av skogliga värdekedjor (Pulkki 2001; Haartveit *et al.* 2004; Broz *et al.* 2019).

Processkartläggning är en metod för att skapa en nulägesbedömning och vidare kunna identifiera problemområden och åtgärdsförslag (Bygdén & Johansson 2014). Haartveit m. fl. (2004) undersökte flödes- och ledtidskartläggningens lämplighet i den skogliga sektorn. Studien jämförde tre olika skogliga företag i Kanada och utvärderade vilken form av kartläggning som lämpade sig bäst. Den stora variationen av begrepp inom processkartläggning påtalades, samt att många av metoderna är väldigt lika. Författarna visade att den icke-värdeskapande tiden på det studerade sågverket varierade mellan 75–85 %, där den större delen av tiden tillbringas i råvarulager eller i färdigvarulager (*ibid.*). Det fanns stora likheter mellan företagen i form av kapacitetsutnyttjande, lågkostnadsproduktion och att de inte var kundorienterade i så stor utsträckning. Det bristande kundfokus syns främst genom att efterfrågan inte harmoniserar med tillgången och att leveranserna till kund sker med lång leveranstid och osäkerhet kring leveranstidpunkt. Osäkerheter kring leveranser leder ofta till att kunden håller ett större säkerhetslager, vilket gör att hela värdekedjan innehåller stora kostnadsdrivande lager.

Processkartläggning har använts som metod inom flera studier för att erhålla en nulägeskartläggning och som en grund för att kunna identifiera slöseri (Hägg 2014; Petterson & Nygårds 2016; Bennemo & Stockhaus 2017). Hos Gunnebo var material- och informationsflödet i fokus och målet var att identifiera slöseri. (Petterson & Nygårds 2016). Slöseri ansågs vara bland annat tid som ej är värdeskapande eller material som slängs. Även Bennemo & Stockhaus (2017) identifierade material och informationsflödet, men riktade sedan studien mot en effektivare materialplanering och lagerstyrning. Medan syftet hos Atlas Copco var att få en mer flexibel produktion genom att reducera ledtiderna och förhoppningsvis även minska lagernivåerna (Hägg 2014).

I vissa studier har intervjuer eller observationer använts i kombination med en processkartläggning för att identifiera förbättringsåtgärder, men det har även använts utan en inledande processkartläggning (Sjödén & Wikström 2008; Burgman 2016). Burgman (2016) byggde sedan vidare på analysen med teori kring flaskhalsar och Little's lag. Medan Sjödén & Wikström (2008) även samlade in stopptidsdata med hjälp av en sändare, där gränsen för stopp sattes till då inget passerat sändaren under fem sekunder.

Nordlund (2008) genomförde sitt examensarbete som en fallstudie med beräkningar för den optimala partistorleken för produktion av kabeltrummor hos Vida. Beräkningarna grundade sig på Wilson-formeln, eller Economic Order Quantity (**EOC**), som applicerades på produktionen genom fastställande av omställningskostnader, kapacitetsförlustkostnader, materialhanteringskostnader, efterfrågan och lagerhållningskostnader. Några av värdena för dessa kostnader antogs genom intervjuer med sakkunniga på företaget.

För optimering av produktionsplaneringen på sågverk har flera studier utförts med komplexa linjärprogrammeringar och i vissa fall har även simuleringar gjorts på fallföretag. Vanzetti m.fl. (2018, 2019) använde en multiintegrerad linjärprogrammering för att dels optimera för produktion i flera perioder, samt som ett verktyg för den dagliga planeringen. Optimeringen för flera perioder skapade en detaljerad planering för hela den skogliga värdekedjan, från det att trädet huggs till att det är i färdigvarulagret som en plank. Den dagliga planeringen undersöktes i två steg, först för att optimera postningen utifrån stockens egenskaper med hjälp av en algoritm. Därefter optimerades hela sågverksprocessen med hjälp av mixad integrerad linjärprogrammering med hänsyn på bland annat lager och produktefterfrågan. Som en fortsättningsstudie på dessa optimeringar utfördes en studie för att utvärdera olika optimeringsmetoder anpassade till sågverk (Broz *et al.* 2019). Resultatet visade även att dessa målfunktioner, bland annat produktionsvolym och kostnad, påverkar varandra till stor del och att en metod som kan hantera flera målfunktioner ger bäst resultat och en avvägning mellan variablerna utförs. Även Huka & Gronalt (2017) använde multiintegrerad programmering i syfte att utvärdera olika optimeringsalternativ. Dessa testades även i verkligheten och känslighetsanalyser utfördes, vilka visade att de verkliga scenariona var känsligare mot förändringar jämfört med simuleringarna. För en värdekedja med flera produkter som produceras i flera perioder, med flera målfunktioner kan även aggregerad planering användas (Khalili-Damghani *et al.* 2017). Modellen testades och utvärderades sedan på ett fallföretag och visade bland annat kostnaderna reducerades.

Arnström & Börsholm (2018) simulerade hur olika föreslagna åtgärder skulle påverka ledtiden för produktionen. Processen var kunddriven och ledtiden för processerna hölls fasta, medan åtgärder för minskade lagertider simulerades. Den studerade verksamheten var efterbehandling av produkter till bilindustrin. Medan Wery m.fl. (2018) använde simulering i kombination med en optimeringsmodell för att direkt kunna se en bild över de produktionsplaneringsproblem som framkom då en ny produkt introducerades. Studien utfördes över flera perioder och påvisade skillnad mellan utfallet, beroende på vilken period produkten introducerades i. En studie i Kanada använde också en simuleringsmodell för att utvärdera tre olika optimeringsmetoder i syfte att öka bruttomarginalen i en pelletsfabrik (Hughes 2014). Målet var att den ökade bruttomarginalen skulle göra företaget mer motståndskraftigt mot efterfrågeförändringar. En känslighetsanalys gjordes av olika faktorer som påverkar företaget, vilken visade att förändringar i utbud och efterfrågan påverkade företaget i större utsträckning än påverkan av skillnader i lagerhållningskostnaden.

Studier har även gjorts med syfte att kombinera olika teorier för en förbättrad planering och undersöka hur en produkt till skulle påverka monteringslinans effektivitet (Thunander & Winberg 2017). I studien baseras en linjärprogrammering på den cykliska planeringens begränsningar, som i sin tur härletts från kartlagda problem.

Genomgången av tidigare studier visar att processkartläggning är applicerbart inom flera olika sektorer och ger bra nulägeskartläggningar. Det som utmärker sågverksbranschen mot andra sektorer är de divergerade flödena och variationen i råvara. Men Haartveit m.fl. (2004) visade att både en processkartläggning och ledtidskartläggning kan vara till applicerbara på skogliga värdekedjor. För att vidare förstå fallföretagets problemområden och arbetsmetodik har produktionsdata, intervjuer och observationer använts i stor utsträckning.

Avancerad linjärprogrammering har använts i stor utsträckning för sågverks produktionsplanering, vilken kan vara svår att applicera till fullt i realistiska planeringssituationer. EOQ har använts tidigare i skogssektorn för produktion av kabeltrummor, men då sågverk är en producerande industri anses den inte vara helt tillämpbar för att utreda den optimala partistorleken för varje körning. Eftersom EOQ är mer tillämpbar på verksamheter som distribuerar produkter och inte tillverkar merparten av dem. Därav återfinns ett glapp i litteraturen för hur den optimala partistorleken identifieras för ett sågverk och hur den påverkar ledtiden. Dessutom anses det motiverat av tidigare studier att genomföra en processkartläggning och ledtidskarta för att skapa en bild av dagens processer och sedan utreda det slöseri som idag finns i produktionen som direkt förlänger ledtiden utan att vara värdeskapande, till exempel stopptider.

3 Teori

Nedan förklaras de teorier som använts i arbetet för att dels få en grundläggande förståelse för problemet, samt för att hitta angreppssätt för att finna en lösning. De större teoribegreppen beskrivs lite översiktligt och delar inom dessa koncept som knyter an mer till problemet förklaras mer detaljerat. Teorierna knyter i slutet an till studiens ramverk, som visar hur frågeställningen angrips.

3.1 Flödesekonomi

Studien undersöker en skoglig värdekedja, vilken är en del av både flödesekonomi och driftsplanering. Tanken med flödesekonomi är att varje aktivitet inom kedjan ska vara värdeökande för produkten (Lambert & Cooper 2000; Krajewski *et al.* 2013 s. 381) och att kedjan ska inkludera alla delprocesser för att en produkt eller tjänst ska bli leveransklar till kund utifrån vissa insatsvaror (Chopra & Meindl 2016 s. 13). Värdekedjan inom flödesekonomin kan alltså inkludera flera olika aktörer. Krajewski m.fl. (2013 ss. 435–450) har delat upp processerna inom en värdekedja för att lättare åskådliggöra de processer som är värdeskapande, samt de processer som är stödjande till de värdeskapande delarna. De värdeskapande processerna följer nedan:

- Leverantörsrelationen - arbete med leverantörsrelationen krävs för att kunna reglera priser, utbyta kunskap, samt för att erhålla säkra och precisa leveranser.
- Produktutveckling - processen utvecklar nya produkter eller tjänster i samarbete med kundrelationsprocessen, från specifika kundförfrågningar eller generella marknadsbehov.
- Fullföljande av order - de processer som krävs för att färdigställa en kundorder.
- Kundrelation - processen bygger till stor del på relationer mellan anställda och kunder.

De stödjande processerna bidrar med insatser till de värdeskapande processerna, till exempel anställningsprocesser, transport och budgetering.

För att implementera ett tänk enligt flödesekonomin i en värdekedja krävs en hög grad av samarbete mellan de olika aktörerna inom kedjan, som samtidigt kan möjliggöra att hela värdekedjans lönsamhet ökar (Lambert & Cooper 2000). Ett ökat samarbete kan även bidra till minskade lager och större förutsägbarhet (Lee *et al.* 1997). Det i sin tur kan minska pisksnärtseffekten som blir, då förändringar i efterfrågan sker utan att någon kommunikation mellan aktörerna finns. Det leder ofta till att varje led efterfrågar lite mer än den faktiska efterfrågan och gör att förändringen för producenten blir väldigt stor. Men genom en större transparens mellan aktörerna i värdekedjan kan den här effekten minskas, eftersom producenten vet vad slutkunden efterfrågar och det totala lagret för värdekedjan sjunker.

Sågverket är alltså en del av en större värdekedja och innehar en roll i att färdigställa en order till kund. Samtidigt kan de ovan nämnda värdeskapande och stödjande processerna återfinnas i sågverkets egen värdekedja. Därmed är leverantören den som förser sågen med insatsvaror och kunden är nästa aktör som vidareförädlar virket vidare eller säljer det vidare till slutkund.

3.1.1 Dragande och tryckande produktion

Pull, eller dragande produktion, är en marknadsdriven process där kunden efterfrågar en produkt eller en tjänst. Det startar en reaktiv process där producenten reagerar genom att tillgodose efterfrågan (Chopra & Meindl 2016 ss. 22–24). Push, eller tryckande, produktion är motsatsen där producenten prognostiserar kundens efterfrågan och producerar utefter den - en spekulativ process. Båda dessa processer kan finnas inom samma värdekedja, där den dragande processen är ut mot kund. Antalet delprocesser som sedan är dragande i värdekedjan kan variera. Det påverkar i sin tur beslut angående lagerhanteringen, om det till exempel ska finnas ett färdigvarulager, komponentlager och vilka nivåer som ska eftersträvas i dessa. Inom Lean-filosofin är tanken att så många processer som möjligt i värdekedjan ska vara kunddrivna, där en inkommen order resulterar i att en produkt börjar tillverkas (Krajewski *et al.* 2013 s. 297).

Push och pull-synsättet kan även användas för att lättare planera de divergerade flödena hos ett sågverk (Haartveit *et al.* 2004). Hos sågverk har ofta plankorna ett kunddrivet flöde, medan brädorna har ett tryckande flöde. Därmed kan en kombinerad planering ge en mer effektiv produktionsplanering.

3.1.2 Prognostisering

Vid tryckande produktionsflöden bygger produktionsplaneringen på en prognostiserad efterfrågan för perioden (Chopra & Meindl 2016 s. 22). Prognostisering är ett försök att förutspå framtidens behov, det finns dock en viss osäkerhet i varje prognos (Olhager 2013 s. 97). Säkerheten i prognosen avtar dessutom med en längre tidshorisont. För att kunna utvärdera en prognosmetod är det viktigt att mäta upp de verkliga värdena och sedan beräkna prognosfelet, därmed kan uppföljning av prognostiseringen ske. Prognoser har en viktig funktion för hela organisationen genom att den bland annat förutspår framtida kassaflöden och behov av personal (Krajewski *et al.* 2013 s. 485).

3.2 Verksamhetsstyrning

Verksamhetsstyrning skiljer sig mot flödesekonomi genom att tankesättet är mer cirkulärt och ofta begränsat till ett företags system och eftersom den här studien är inriktad mot ett fallföretag appliceras flera av verksamhetsstyrningens teorier (Krajewski *et al.* 2013 ss. 22–23). Det finns även fördelar med att fokusera studier på processer istället för avdelningar eller företag, eftersom processerna i större utsträckning visar vad som faktiskt sker.

Krajewski m.fl. (2013 ss. 116–117) särskiljer på tre olika produktionsstrategier som utgår från hur styrd produktionen är av order. *Tillverka mot order* är en strategi som gör specifika produkter mot order, tillämpning av den strategin leder ofta till tillverkning av små partier och produktionen startar först när en order på varan finns. Den här strategin är den primära hos fallföretaget, men gäller endast för plankor. Brädorna produceras oftast istället mot lager. *Samla till order* skiljer sig lite åt då slutprodukten tillverkas först när en order på den kommer, medan komponenterna till produkten finns färdiga. Strategin är inriktad på hög flexibilitet och kort leveranstid genom att erbjuda många varierade produkter av få komponenter. Den sista produktionsstrategin som beskrivs är *Tillverka mot lager*. Ofta produceras standardiserade produkter med den metoden och produktionen bygger på prognoser, vilket minimerar leveranstiderna. I det studerade fallet appliceras *Tillverka mot lager*, eftersom produktionen sker baserad på en prognos.

3.3 Strategisk planering

3.3.1 Cyklisk planering

Frågeställningarna för studien härrör till stor del till produktionsplanering, cyklisk planering är en planeringsstrategi för anläggningar där samma utrustning används till flera produkter och kapaciteten är den begränsande faktorn (Olhager 2013 s. 332). Produktionsföljden är cyklisk och därmed återkommer produktionen av en viss produkt regelbundet, där ett parti av produkten tillverkas varje cykel. Partivis tillverkning är den vanligaste tillverkningsprocessen inom producerande industrier och behandlar ofta stora kvantiteter (Krajewski *et al.* 2013). Ett primärt syfte med cyklisk planering är att förse delprocesserna med ett jämnt flöde av material för att minimera köbildning, som i sin tur skulle leda till längre ledtider (Olhager 2013 s. 332). I teorin antas en produkt endast förekomma en gång i varje produktionscykel, vilket gör att alla produkter även får en gemensam cykeltid. I planeringen tas kostnaden för omställning mellan olika produkter och lagerhållning i beaktning. En reducerad cykeltid leder till kortare ledtider och därmed lägre lagervolymer.

3.3.2 Flaskhalsar

Flaskhalsen är en begränsning i produktionen, det kan både vara en maskin som är begränsande, brist på råvara eller lägre efterfrågan jämfört med produktionskapacitet (Krajewski *et al.* 2013 s. 267; Olhager 2013 s. 159). En flaskhals i en produktionslinje kan kännas igen genom att den har den längsta ledtiden per enhet i systemet eller har den högsta belägningsgraden (Krajewski *et al.* 2013 s. 268). Eftersom flaskhalsen är den begränsande delen i produktionen planeras det oftast så att den utnyttjas till fullo och hela processen planeras därmed efter flaskhalsen (Olhager 2013 s. 159). Oftast är flaskhalsen en kostsam investering, för om det varit ett mindre inköp hade flaskhalsen varit lättare att investera bort. Flaskhalsar som finns tidigt i produktionsprocessen upplevs ofta störa den övriga produktionen mindre, än flaskhalsar i ett senare skede av produktionen. Det beror delvis på att produktionen blir effektivare om varje steg har en ökande kapacitet, för att de senare produktionsdelarna kan ta hand om leveranserna från tidigare steg. Ett sådant flöde bidrar till jämnare och mer förutsägbara ledtider än vid en sen flaskhals, där ledtiderna innan flaskhalsen blir mindre förutsägbara. Vid en varierande efterfrågan kan även den begränsade delen i systemet förändras, vilket gör driftsplaneringen komplex (Krajewski *et al.* 2013 s. 270). En lägre belägningsgrad för alla delprocesser gör att systemet lättare klarar av den typen av fluktuationer.

3.4 Tidsplanering

Om den cykliska planeringen var den övergripande strategin, är tidsplaneringen det taktiska utförandet (Olhager 2013 ss. 346–347). Där tidsplaneringen bestämmer när och var en process ska utföras och en körplanering syftar till att prioritera ordersekvensen då köbildning uppstår. Underlaget för den här planeringen utgörs till stor del av en belägningsanalys i förhållande till produktionens kapacitet.

Tidsplanering används när produktsortimentet är varierat och varje tillverkningsorder måste planeras var för sig (Olhager 2013 ss. 346–347). Planeringen blir mer komplex då produkterna och tillverkningsstegen är många. Tidsplaneringen kan sedan utgå från planering framåt eller bakåt. Där planering framåt utgår från en viss starttidpunkt för producerandet av produkten och lägger till operationer efter givna ledtider. Planering bakåt tar istället fasta på när leveransen ska ske och planerar in operationer efter kända ledtider. Likt cyklisk planering eftersträvas en lägre belägningsgrad längre fram i produktionskedjan, för att skapa ett ”sug” i produktionen.

Sekvensering kallas de problem som uppkommer vid tidsplanering och gör det svårt att hitta den optimala lösningen för komplexa produktionssystem (Olhager 2013 s. 350). För enklare produktioner går det att finna den optimala lösningen, medan de mer komplexa produktionssystemen får nöja sig med en ”bra” lösning. Ett av problemen är att optimeringen kan ske mot flera olika variabler, till exempel minimera genomsnittlig genomloppstid, maximal genomloppstid eller totalproduktionstid.

3.5 Lager

För att förstå planeringsproblemen i frågeställningen beskrivs här olika lager. Lagernivån reglerar produkttillgängligheten och lagerhållningskostnaden i en värdekedja, samt verkar som en buffert för skillnader i utbud och efterfrågan (Chopra & Meindl 2016 s. 61). Säsongsvariationer i efterfrågan kan förekomma och leder till att lager behöver byggas upp inför vissa perioder. Samtidigt kan det vara mer ekonomiskt att producera stora partier, vilket ger ett större omsättningslager. Vid produktion mot lager utgår produktionsplaneringen från prognoser.

Det finns många olika lager som innehar olika funktioner, några exempel är (Olhager 2013 ss. 281–283):

- *Säkerhetslager* som används för att uppväga osäkerheter i utbud av råvara och efterfrågan i färdiga varor.
- *Processlager* finns mellan produktionsstegen i en taktad produktionslina, eller en kontinuerlig process, den bestäms av de olika produktionsstegens kapacitet. Då kapaciteten skiljer sig åt behövs processlager mellan enheterna.
- *Spekulationslager* är det lager som uppstår vid extra inköp inför förväntade prishöjningar.

De kostnader som främst förknippas med lager är lagerhållningskostnader, ordersärkostnader och bristkostnader (Olhager 2013 ss. 283–284). Lagerhållningskostnaden beror på lagerhållningsränta och artikelvärde, alltså kostnader för bindande av kapital i lagervaror. Ordersärkostnaden och lagerhållningskostnaden är variabler som bestämningen av optimal partistorlek baseras på, vilket förklaras mer i kapitel 4.4.3. Bristkostnader består av administrativa kostnader vid försenade leveranser och av uteblivna intäkter. Bristkostnader kan vara svåra att beräkna vilket gör att säkerhetslagrets nivå baseras på en bestämd servicenivå, där bristkostnader beaktas indirekt.

3.6 Ledstyrning

Målet med hela arbetet är att reducera ledtiden för fallföretaget, enligt Olhager (2013 ss. 28–30, 361) definieras ledtid som den tid som förlöper från att behovet av en aktivitet uppstår till att vetskapen om att aktiviteten utförts, alltså från beställning till leverans. Sedan skiljer sig betydelsen till viss del beroende på kontext, i det här fallet är ledtiden i produktionen den som studeras. Ledtiden kan delas upp i fem påverkande tidsfaktorer: transporttid, kötid, ställtid, bearbetningstid och väntetid. Dessa tider förekommer olika många gånger i en produktionskedja, men ofta består ledtiden till störst del av transporttid, kötid och väntetid.

Ledtidstyrning används vid tidsplanering för att minska den genomsnittliga genomloppstiden, alltså ledtiden, och för att kunna erbjuda snabbare leveranser (Olhager 2013 ss. 28–30). Nedan följer två strategier för att minska genomloppstiden. Där den första är mer applicerbar på ett sågverk, jämfört med den andra.

3.6.1 Överlappning

Vid överlappning levereras delpartier från ett produktionssteg till nästa, utan att hela partiet är klart i det första steget (Olhager 2013 s. 361). Den här strategin passar främst att applicera till produktionsflöden som behandlar flera order av stora kvantiteter, produktionen är repetitiv och de producerande processerna inte är sammankopplade men har korta transportavstånd. Men överlappning kan endast tillämpas på större order. Samtidigt som överlappning ökar känsligheten för störningar i processen.

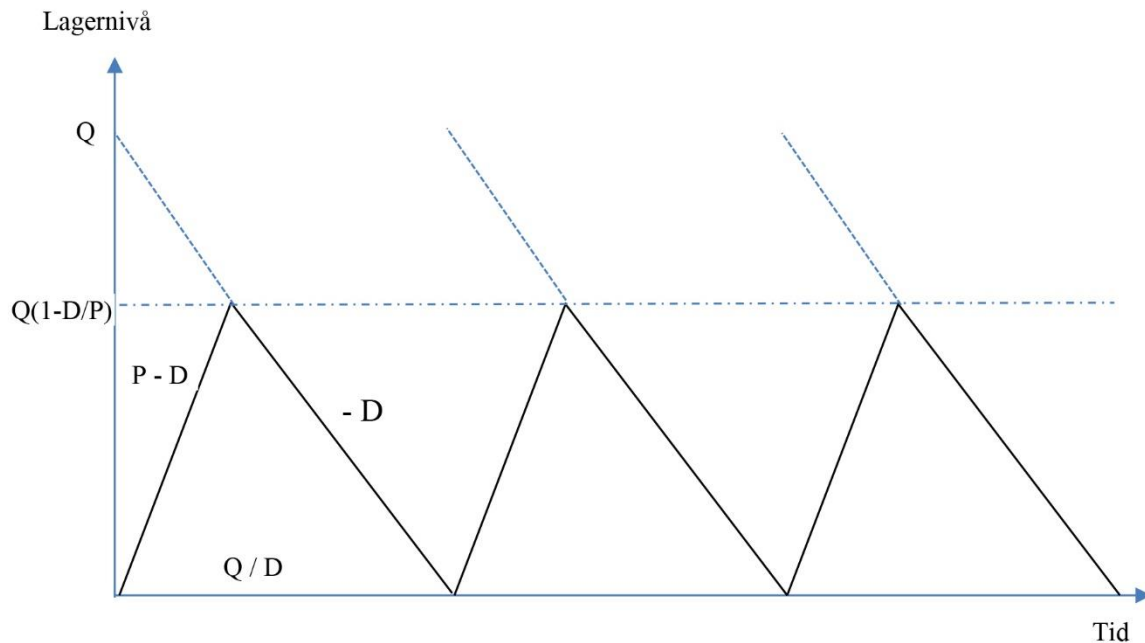
3.6.2 Orderklyvning

Vid utförande av orderklyvning delas en order upp i flera mindre delar, för att reducera orderns genomloppstid (Olhager 2013 s. 365). Den här metoden kräver dock att ordern kan bearbetas i olika resurser samtidigt och störst effektivitet uppnås då planeringen sker så att alla delorder blir klara vid samma tidpunkt. Planeringen blir mer komplex då resurserna innehar olika kapaciteter och ställtider.

3.6.3 Optimal partistorlek

Ovan två nämnda strategier syftar till att reducera ledtiden genom att producera mindre partier vid varje körning (Olhager 2013 ss. 361, 365). För beräkning av den optimala produktionskvantiteten kan **EPQ**, Economic Production Quantity, appliceras (Chopra & Meindl 2016 s. 289). Det är en utveckling av den likande teorin **EOQ**, Economic Order Quantity, genom att vara mer anpassad till tillverkande processer. EOQ är mer applicerbar på system som hanterar färdiga produkter, till exempel detaljhandel. Genom EOQ-formeln beräknas den optimala orderkvantiteten beroende på faktorerna: årlig efterfrågan, den fasta kostnaden för varje order, kostnaden för varje produkt och lagerhållningskostnaden.

Vid beräkningar av EPQ antas det att produktionen sker samtidigt som leveranser sker till kund, se Figur 2 (Krajewski *et al.* 2013 s. 366; Olhager 2013 ss. 290–291; Heizer *et al.* 2017 ss. 540–542). Dessutom att påfyllnadshastigheten till lager eller produktionstakten (P) är högre än efterfrågan (D). Därmed måste kvantiteten (Q) produceras, men det är endast $P - D$ som hamnar i lager och innan nästa produktionskörning startar igen har lagret minskat i samma takt som efterfrågan, alltså $-D$.



Figur 2. Lagerförändring vid produktion enligt EPQ, bilden är gjord med inspiration från Krajewski m.fl. (2013 s. 366) och Olhager (2013 s. 290).

Metoden bygger dock på flera antaganden om systemet, vilket gör att användandet av den begränsas eller medför vissa approximationsfel i beräkningarna (Krajewski *et al.* 2013 s. 369). Antaganden som görs är att:

- Efterfrågan är konstant
- Produktionskörningar utförs med fasta intervall
- Produktionen av produkter är kontinuerlig och i en konstant takt
- Ställ- och orderkostnaden är fast
- Ledtiden är fast
- Inköpspriset är fast

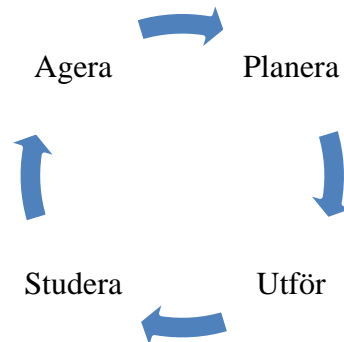
3.7 Lean Produktion

Lean Produktion är en design eller ett tankesätt för en flödesekonomi, där alla de interna funktionerna involveras, samt de till leverantörer och kunder (Krajewski *et al.* 2013 ss. 296–297). Det är viktigt att ledningen anammar Lean och gör det till en del av företagskulturen, för att det ska bli framgångsrikt för verksamheten. Syftet med Lean är att ta bort åtta specificerade typer av slöseri, producera det som efterfrågas och att ständigt utveckla det värdeskapande processerna inom företaget. Detta sker genom flera olika strategier inkluderade i Lean. De åtta formerna av slöseri som ska minimeras är överproduktion, olämplig bearbetning, väntetid, transport, manuella ingripanden, lager, defekter och underutnyttjande av personal. Strategierna för att minimera slöseri kan knytas till tre områden, leverantörs-, kund- och intern relaterade processer (Shah & Ward 2007). Några av strategierna förklaras mer längre ner i kapitlet. Lean utvecklades för produktionsindustrin av Toyota, men flera sektorer anses kunna dra nytta av att applicera ett lean-tänk till organisationen (Krajewski *et al.* 2013 s. 296).

Vid utformandet av Lean inom en flödesekonomi med syfte att minimera lager och dröjsmål, krävs säker tillförsel av råvara (Krajewski *et al.* 2013 s. 298). Det bygger på goda relationer med leverantörerna och en gemensam vilja att utvecklas. Den andra delen för att minska lagervolymer och dröjsmål är att sträva efter små partistorlekar. Eftersom det reducerar lagernivåer och ledtider, samt att kvalitetsbrister kan upptäckas snabbare. Samtidigt ökar antalet ställtider vid små partistorlekar, till exempel byte av utrustning mellan partierna, och resulterar i en ökad stillastående tid. Det gör att även kortare ställtider eftersträvas.

3.7.1 Koncept inom lean

Kaizen är en del av konceptet Lean och bygger på ett kontinuerligt utförande av förbättringar inom processer (Krajewski *et al.* 2013 ss. 183–184). Tanken är att de som är närmast processerna och arbetar med dem varje dag har störst kunskap om dem, och kan därmed komma med de bästa förbättringsförslagen. Det krävs då att de anställda erhåller metoder för utförande och testning av åtgärder, samt att de känner sig delaktiga och betydelsefulla. Syftet med kontinuerliga förbättringar är att minska slöseri av till exempel ledtid, material eller tillbud. Enligt Kaizen testas inte potentiella förbättringsåtgärder slumpvis, utan det finns fyra steg att följa, även kallad Deming-cykeln, se Figur 3.



Figur 3. Deming-cykeln fyra steg för förbättringsåtgärder (Krajewski *et al.* 2013 ss. 183–184).

I planeringssteget väljs en process som har förbättringsbehov som sedan kartläggs och nya mål för processen fastställs (Krajewski *et al.* 2013 ss. 183–184). Diskussion och analys utförs för att identifiera möjliga åtgärder som sedan utvärderas genom bland annat en kostnadsjämförelse. Det leder sedan fram till en plan för hur förbättringsarbetet ska fortsätta. Därefter implementeras planen och följs upp kontinuerligt. Data som samlas in analyseras och mätetalen jämförs med de uppsatta målen. Beroende på hur de förhåller sig till målen, utförs antingen nästa steg och åtgärderna implementeras som standard. Alternativt utförs revideringar av planen eller så avslutas projektet.

Jidoka är ett annat begrepp och innebär att processen ska stoppas så fort ett fel uppmärksammas och att felet ska åtgärdas på en gång (Krajewski *et al.* 2013 s. 300). Det innebär att operatören hela tiden ska kontrollera kvalitén, så inte kvalitetsfelet följer med produkterna till senare delar av kedjan.

En strategi för att uppnå en organiserad, ren och utvecklande arbetsplats kallas 5S, utifrån de fem stegen; sortera, organisera, städa, standardisera och bibehåll (Krajewski *et al.* 2013 ss. 302–303). För att uppnå bäst resultat med strategin ska alla stegen utföras, inte något enskilt. Det första steget, sortera, syftar till att dela upp nödvändiga saker från onödiga. Det kan gälla allt från verktyg och material till papper, varvid de onödiga sakerna kastas. Sedan ska de kvarvarande sakerna organiseras, så varje sak har en specifik plats. Därefter städas hela arbetsplatsen. Sedan ska en standardisering utformas för de tre ovannämnda stegen, så att till exempel städning utförs återkommande en viss tidpunkt på ett förutbestämt sätt. Slutligen är det sista steget att bibehålla den ordning som erhållits av de tidigare stegen.

En metod som kan resultera i minskade lagernivåer är **JIT**, just-in-time, vilket betyder att varje order ska levereras på rätt tidpunkt till kund. En hög leveranssäkerhet eftersträvas alltså och att varje del i produktionen ska utföras vid rätt tidpunkt (Waters-Fuller 1996). Genom att allt utförs vid en viss tidpunkt blir det lättare att prognostisera utfall och hålla kundorder, vilket i sin tur leder till minskade säkerhetslager. Water-Fullers (1996) studie påvisade dock att för företag där produktionen inte sker JIT, ledde förändringen av att leverera JIT till kund att lagren ökade. För företag som däremot även producerade JIT minskade lagren. Det visar på att för att lova hög leveranssäkerhet till kunder krävs en leveranssäker produktion, för att inte lagren ska öka.

Det finns flera andra koncept inom Lean och bäst effekt erhålls om hela lean-konceptet implementeras, men viss förbättring kan ske om bara delar realiserats (Shah & Ward 2003).

3.7.2 Stålltidsreduktion

SMED, Single Minute Exchange of Die, är en strategi för stålltidsreducering som också härstammar från Toyotas arbetsmetodik (Olhager 2013 s. 472). Strategin är uppdelad i tre steg och i det första steget identifieras den yttre och inre omställningen. Den yttre omställningen omfattar aktiviteter som kan utföras samtidigt som processen körs, till exempel städning eller förinställning. Medan den inre omställningen är aktiviteter som kräver att processen står still. Steg två syftar till att omvandla inre omställningsaktiviteter till yttre, för ytterligare förberedande arbete och därmed kortare stopptid. Det sista och tredje steget kräver någon form av investering för att ytterligare reducera den inre omställningstiden. Som namnet för strategin syftar på är målet att reducera stålltiden till under 10 minuter.

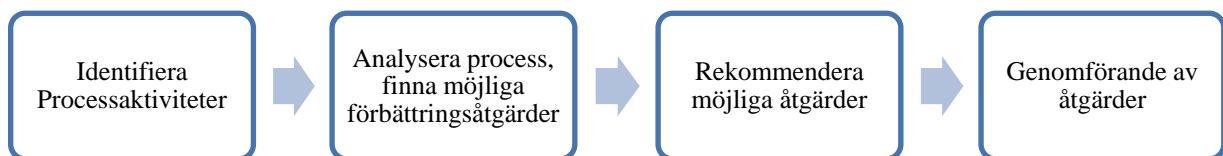
En lyckad stålltidsreducering ger flera positiva följeffekter, till exempel möjlighet att minska belägningsgraden i processen, minska partistorlekarna och öka produktionen (Olhager 2013 s. 473). Vid olika kombinationer av dessa alternativ kan det leda till bland annat kortare ledtider, högre flexibilitet, ökade intäkter och lägre lagernivåer. Ledtiden reduceras direkt genom den minskade stålltiden, men även indirekt genom en minskad kötid. För en kortare stålltid frigör kapacitet och därmed minskar köerna. Om även partistorleken har minskats till följd av de kortare stålltiderna, så reducerar även det ledtiden.

Ledtiden beror även på kapacitetsnyttjandet och det är främst bearbetnings-, ställ-, samt kötiden som påverkas av processens kapacitetsbeläggning (Olhager 2013 s. 477). Variationer i systemet påverkar ledtiden, vilka kan bestå av råvarufluktuationer, förändringar i systemet eller en ojämn efterfrågan. Effekten på kapacitetsbeläggningen påverkar i sin tur partistorleken och därmed kötiden och stålltiden. Alltså vill även en minskad variation i systemet eftersträvas för en kortare ledtid och ett högre kapacitetsutnyttjande.

3.8 Processkartläggning

Processkartläggning benämns med flera namn inom litteraturen där det endast förekommer små skillnader i teorierna bakom och i utförandet. Krajewski *et al.* (2013 s. 307) beskriver flödesschemat som en metod för att skapa en överblick av processerna, samt hur de förhåller sig till varandra. Att identifiera huvudprocesser kan även vara till stor hjälp för att få förståelse för systemet.

Processkartläggning är en organiserad form av dokumentation genom att start- och slutaktivitet för en vald process identifieras, varvid ett subjekt utses (Krajewski *et al.* 2013 ss. 307–309). Kartläggningen utförs utifrån subjektets perspektiv och innehåller även uppskattade tidsangivelser för varje delprocess. Ledtiden fördelas mellan tid i process och tid i lager, för att erhålla en överblick över var störst potential till reducerad ledtid finns (Haartveit *et al.* 2004). Olhager (2013 ss. 136–138) beskriver samma analys, men benämner den som processflödesanalys. Den tar det även ett steg längre (se Figur 4), så efter processaktiviteterna identifierats sker en analys, rekommendation och genomförande av förbättringsåtgärder.



Figur 4. Tolkning av Olhagers (2013 s. 137) syn på processflödesanalys.

Inom Lean-teorin benämns analysen av materialet och informationens väg genom systemet som flödesanalys, vilket anses ha en central roll i förbättringsarbetet, för att erhålla en överblick av produktionen (Olhager 2013 s. 138). Överblickens bidrar till att de blir lättare att upptäcka olika form av slöseri (Krajewski *et al.* 2013 s. 307). Genom rimlighetsanalyser värderas ledtider och lagernivåer i olika delar av systemet (Olhager 2013 s. 138).

Värdeflödesanalysen bygger vidare på flödesanalysen och delar upp processerna inom systemet i värdeskapande, icke-värdeskapande och nödvändiga icke-värdeskapande processer (Olhager 2013 ss. 464–466). Den visualiserar även tidsåtgången och planeringsstegen för varje moment och blir på det viset ett värdefullt underlag för att sedan finna områden med förbättringspotential. Allt i syfte för att öka antalet processer som är värdeskapande. Den värdeskapande ledtidsandelen ger ett mått på den värdeskapande tiden i systemet i förhållande till den totala genomloppstiden. Alltså den tid råvaran bearbetas, se formel 1.

$$VLA_i = \frac{\sum_{j=1}^n t_{ij}}{G}$$

där

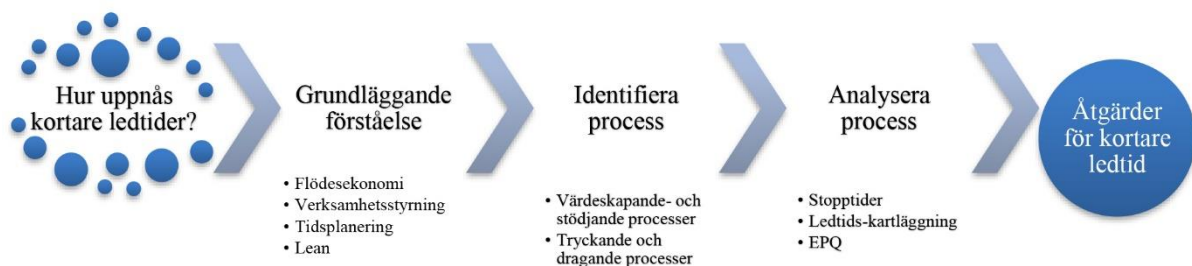
$$VLA_i = \text{den värdeskapande ledtidsandelen för produkt } i \quad (1)$$
$$G = \text{genomloppstiden}$$
$$t_{ij} = \text{operationstid i process } j \text{ för produkt } i$$

Operationstiderna j summeras för produkt i , för att sedan divideras med genomloppstiden G , det ger ett procentuellt tal för den värdeskapande tiden.

Olhager (2013 ss. 138, 464) delar upp processerna i fem aktiviteter: operation, transport, kontroll, lagring och hantering. En operation är en aktivitet som avsiktligt förändrar insatsvaran på något vis, till exempel dess fysikaliska egenskaper eller att en detalj monteras. Även planering och kalkylering kategoriseras som operationer. Transport avser då varan flyttas mellan olika platser, men inte påverkar varans egenskaper. Kontroll syftar till de aktiviteter som verifierar resultatet av en annan aktivitet. Det kan genomföras genom jämförelse mot en annan vara eller genom till exempel mätning eller vägning. Lagring är då varan väntar i lager på kommande aktivitet eller kontroll. Hantering syftar till de kortare förflyttningar som sker mellan till exempel olika operationer.

3.9 Teoretiskt ramverk

Studien har delats in i tre grundläggande steg, vilka delvis är hämtade från Deming-cykeln som visades i Figur 3. I Figur 5 presenteras det teoretiska ramverket för den här studien, och visar de teorier som knyter an och används i de olika stegen. Det sker en viss överlappning mellan stegen och en teori användes i flera steg av studien, men figuren presenteras för att ge en överblick.



Figur 5. Studiens teoretiska ramverk med syftet längst till vänster som en fråga. Varvid de olika teorierna för studien presenteras kopplade till hur de bidrar till studiens delar.

Den grundläggande förståelsen för fenomenet och systemet erhöles genom teorierna flödesekonomi, verksamhetsstyrning, tidsplanering och Lean. Medan cyklisk planering och processidentifiering är delar som definierade systemets gränser och delprocesser. I det steget identifierades även flaskhalsar, samt tryckande- och dragandeaktiviteter. Huvuddelen av studien var att analysera processerna genom att identifiera stopptiderna och ledtiderna i systemet, samt den optimala partistorleken genom EPQ. Det var alltså i den analyserande processen frågeställningen besvarades, medan de tidigare stegen gav en förståelse för hur resultatet kunde tolkas. Teorierna valdes i samspel med metoderna som presenteras i det kommande kapitlet, för att i största möjliga mån svara på arbetets frågeställningar.

4 Metod

Metodavsnittet börjar med att beskriva studiens ansats, för att sedan redovisa hur datainsamlingen utförts. Därefter presenteras de tre angreppssätt som utgår från frågeställningen och varje steg förklaras och motiveras.

4.1 Fallstudie

Studien utfördes som en kvalitativ fallstudie, eftersom utformningen av studien då kan vara flexibel och anpassningsbar (Robson 2011). Inom en fallstudie studeras ett specifikt fenomen och dess kontext i en djupgåendeanalys, vilket ger god förståelse för frågeställningen. Kompromissen blir att det inte går att dra generella slutsatser på samma vis som för en kvantitativ undersökning. Fallstudie användes i det här arbetet för att flera olika metoder skulle kunna kombineras, för att mer ingående kunna svara på frågeställningarna och för att tydligt se processerna i förhållande till varandra (Feagin *et al.* 1991).

Ansatsen till uppsatsen var abduktiv, vilket innebar en kombination av ansatserna induktiv och deskriptiv, där den inledande frågeställningen var klar från början. Men att nya studieområden upptäcktes varefter teorier kring den första frågeställningen undersöktes (Robson 2011). För det här arbetet innebar det att studien började med en kartläggning av processerna och ledtiderna, för att sedan frågeställningar kring stopporsaker och partistorlekar uppkom.

4.2 Systemgränser

Data som studerades var från 2018 och inkluderade alla sågens sortiment, vilket valdes att avgränsas till de dimensioner som levererades till Setras limträproduktion i Långshyttan (Tabell 1). Valet föll på de dimensionerna eftersom Långshyttan tydligt jobbar med hög leveranssäkerhet och för att det är ett mått även Heby utvärderar. Dessutom utgör de levererade volymerna till Långshyttan från Heby en stor del av virkesvolymen som stannar i Sverige (Setra u.å.). Dimensionerna anges i millimeter för tjocklek och bredd, de kan förekomma i olika längder.

Tabell 1. Dimensioner som levererats till Långshyttan från Heby. De presenteras i millimeter och avser tjocklek och bredd, olika längder förekommer för varje dimension

Dimension
34x112
34x127
45x130
50x100
50x125
50x150
53x97

Alla dimensioner som torkas ned till tolv procents fuktkvot och som sedan sorteras till klass I-VII i justerverket, alltså att endast specifika fel tas bort, levereras till Långshyttan. Utöver sortimenten nämnda i Tabell 1 skickas även mindre volymer av blandade sortiment till Långshyttan. Dessa ingick ej i studien, eftersom de omfattar marginella kvantiteter.

4.3 Datainsamling

Den data som använts i studien har varit primärdata i form av produktionsdata och intervjuer. Produktionsdata krävde bearbetning för att få fram relevant information för att besvara frågeställningen. Medan intervjuerna gav en djupare förståelse och bidrog till att hitta möjliga åtgärder för att reducera ledtiden.

4.3.1 Produktionsdata

Produktionsdata har tillhandahållits av Setra genom produktionsdatabasen Fagus, som används som ett planeringsverktyg och för uppföljning. Genom Excels Pivottabell kunde sortimenten för 2018 sorteras ut, samt de som levereras till Långshyttan. Sedan krävdes manuellt arbete för att koppla samman ordernumret från justerverket till ordernumret i sågen. För varje ordernummer fanns många variabler, men de som valdes ut att tolkas i det här arbetet var: stopptiden, stoppsaker, produktionstiden och produktionsvolymen för alla delprocesser. Viss bearbetning krävdes med Excel för att erhålla ledtiderna för de processavgränsningar som valts. Dessutom var en del av tiderna aggregerade vilket gjorde det omöjligt att särskilja lagertiden och transporttiden.

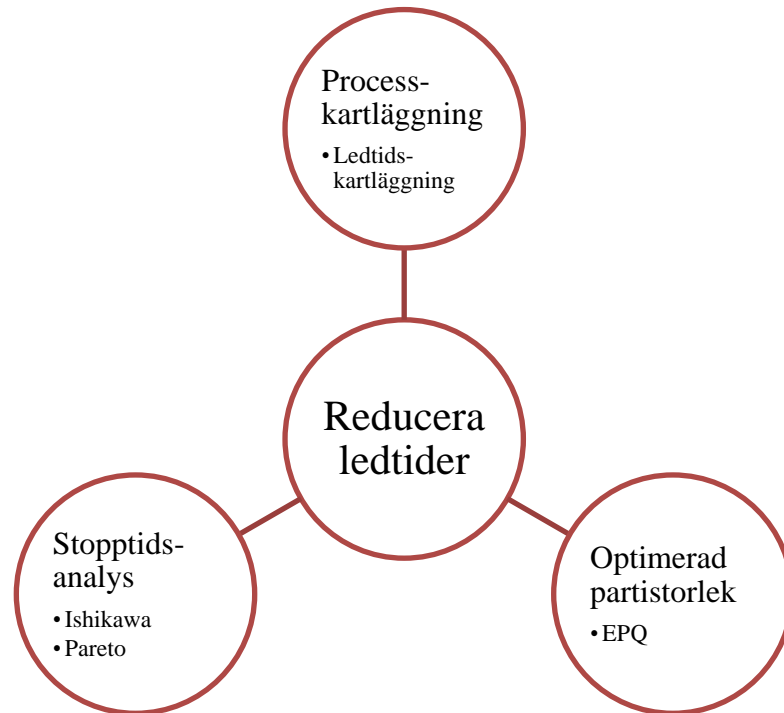
4.3.2 Intervjuer

För att erhålla en djupare förståelse för produktionsdata och sågens processer, genomfördes samtal med handledare på företaget och intervjuer med operatörer på justerverket och sågen. Samtalen hade till syfte att utreda bakgrunden till de produktionsstopp som identifierades vid processkartläggningen, samt för att nyttja deras kunskap vid framtagande av åtgärdsförslag. Intervjuer är ett effektivt redskap för att få djup kunskap om ett problem och dra nytta av vad andra kan (Kvale 2006). Eftersom det är en kvalitativ studie kunde frågorna även ställas öppna och ge möjlighet åt den intervjuade att ge sin bild av de diskuterade frågorna (Mack *et al.* 2005). Intervjuerna utfördes som semistrukturerade intervjuer, vilket tillåter en viss flexibilitet, eftersom frågorna mer ses som en lista med ämnen som önskas diskuteras och kan anpassas i stor utsträckning till hur intervjun ter sig (Robson 2011).

Urvalet skedde genom att min handledare på företaget tipsade mig om några personer att intervjua som jobbar i produktionen. Den formen av urval kan benämnas som snöbollsurval, vilket innebär att författaren har kontakt med en person som i sin tur rekommenderar nya personer som förfaller vara lämpliga att intervjua (Mack *et al.* 2005). Alla intervjuer spelades in. I Bilaga 1 finns de frågor som ställdes vid intervjun med operatörerna i justerverket och sågen, samt sammanfattade svar. Svaren användes dels för att få en ökad förståelse för vad de olika stoppsakerna innebar, samt för att utreda vad som kan förhindra stoppen. De bakomliggande orsakerna till stopp som gavs av intervjuerna kategoriserades som personal, maskiner, metoder, miljö, maskiner eller mätningar. Kategorin berättar inom vilket område en åtgärd bör ske för att reducera antalet stopp.

4.4 Tre angreppssätt

För att utföra det sista analyserande steget i Figur 5 utformades tre strategier. De tre angreppssätten kopplar även an till de tre frågeställningarna, där processkartläggningen avsåg att svara på hur ledtiden skiljer sig mellan de olika sortimenten, se Figur 6. Stopptidsanalysen syftade till att identifiera de faktorer som orsakade stopp. FMedan EPQ beräknade den teoretiskt optimala produktionsvolymen. Hur metoderna utfördes förklaras noggrannare längre ned i kapitlet, här följer endast en introduktion och bakgrund till varför dessa metoder valdes.



Figur 6. Målet för arbetet i mitten som angrips genom att identifiera stopptiderna, ledtiderna och den optimala partistorleken.

Processkartläggningen och ledtidskartläggningen syftade till att göra en nulägesanalys och se hur lång tid varje process tar idag och för att i viss mån kunna jämföra med andra liknande arbeten. Ledtiden har valts som parameter för de många positiva följd effekterna, till exempel att lagervolymer minskar, kapital och kapacitet frigörs och snabbare reaktion på kvalitetsförändringar. Dessa följd effekter tillsammans med en större vetskap om dagens ledtider skulle även kunna ge en säkrare produktionsprocess, vilken idag är en osäkerhetsfaktor och bidrar till större säkerhetslager.

Vid processkartläggningen identifierades stopptider för sågen och justerverket, varvid en djupare analys av dessa tider utfördes för att ta reda på anledningen bakom stoppen. Den analysen resulterade i ett Ishikawa- och ett Paretdiagram för respektive process, vilka beskrivs mer i 4.4.2.

En optimerad partistorlek ger enligt teorin lägre kostnader och ett effektivare genomflöde i produktionen. Produktionen valdes att optimeras utifrån optimal partistorlek, istället för att minimera cykeltiden. Eftersom produkterna inte producerades med ett konstant intervall, utan produktionsplaneringen berodde till viss del på råvarutillgången. Studien genomfördes på 2018 års produktionsdata, vilket medförde att den beräknade optimala partistorleken för sortimenten, kunde utvärderas mot vad den faktiska partistorleken var.

4.4.1 Processkartläggning

Tidigt i studien utfördes en processkartläggning med avsikt att skapa en överblick av råvarans väg genom systemet. Produktionens delprocesser kartlades och visualiserades i ett flödesschema. Utifrån produktionsdata bestämdes genomsnittliga ledtider för de studerade sortimenten i varje process och presenterades i ett ledtidsdiagram. I produktionsdata framgick inte skillnaden mellan tiden i mellanlager innan tork, i tork och i mellanlager efter tork. Men sluttiden i sågen och starttiden i justerverket var känd, dessutom har varje torkprogram en fast tid. Därmed blev tiden för transport, mellanlager innan tork och mellanlager efter tork aggregerad i en tid. Planeringen på sågen eftersträvar ett så litet lager som möjligt innan tork, för att minska risken för inkurans. Därmed antas att 10 % av tiden tillbringas innan tork, vilket för de studerade sortimenten blir knappt ett dygn. Det anses rimligt då paket ofta torkas direkt efter sågning under sommar och höst. Medan paket kan stå i lager innan tork i två till tre dagar under vinter och vår. Tiden i råvarulager framgick inte heller av produktionsdatan, utan uppskattades genom att först beräkna hur många stockar som i genomsnitt använts till de studerade sågningarna och sedan beräkna hur många stockar av den klassen som anländer varje dag. Därmed kunde en tid uppskattas för när den timmerklassen ansågs vara redo för sågning. Utformningen av kartläggningen utgick till viss del från Haartveit m. fl. (2004) studie som utvärderar olika kartläggningsmetoder, för att bäst beskriva tre värdekedjor inom skogssektorn.

Processerna fördelades även mellan värdeskapande och stödjande, samt var i kedjan processerna gick från att vara tryckande till dragande. Bedömningen om processen var tryckande eller dragande grundade sig i om processen startade genom att en kund efterfrågade en produkt eller om processen startade eftersom råvara fanns tillgänglig.

4.4.2 Stopptidsanalys

Analysen utgick från de stopptider som erhöles vid processkartläggningen, därefter identifierades stopporsakerna för varje order och sammanställdes för varje sortiment och stopporsak. Dessa stopp var oplanerade stopp som skedde under pågående produktion, utöver dessa stopp finns planerade stopp, till exempel underhållsstopp och nattstopp. För att vidare förstå vad som orsakade varje stopp, speciellt när stoppen kodades som ”Stopporsak ej angiven” eller ”Okodat stopp” genomfördes intervjuer med personal på justerverket och sågen. Antalet order som sågats och justerats av varje dimension under 2018 skilde sig åt mellan sortimenten, se Tabell 2.

Tabell 2. Antalet order per dimension under 2018 i sågen respektive justerverket

Dimension (mm)	34x112	34x127	45x130	50x100	50x125	50x150	53x97
Order i såg (st.)	21	15	4	11	7	13	8
Order i justerverk (st.)	16	15	4	14	9	14	9

I vissa fall justerades två sågningar under samma ordernummer, medan vissa justeringar inte hade något ordernummer från sågen angivet.

Av stopptiderna kunde ett *Paretodiagram* skissas upp för sågen och ett för justerverket. Pareto diagram bygger på 80-20-regeln, som innebär att 80 procent av felen i en verksamhet beror på 20 procent av de felande faktorerna (Krajewski *et al.* 2013 s. 152). Alltså kan en stor mängd av problemen i en process försvinna genom att relativt få faktorer åtgärdas. Det åskådliggörs i en graf med tre axlar, där frekvensen av olika fel noteras. Det valdes att göras två separata diagram

för sågen och justerverket, eftersom stopporsakerna delvis skiljer sig åt och det är olika människor som jobbar på respektive del av produktionen.

Genom data från intervjuerna kunde även ett *Ishikawadiagram* eller ett orsak-och-effekt-diagram utformas för sågen respektive justerverket. Ishikawadiagram används i analysarbetet av en verksamhet för att identifiera orsakerna bakom ett specifikt problem och knyter det till faktorer som påverkar verksamheten (Krajewski *et al.* 2013 ss. 153–154). Vid framställandet av ett Ishikawadiagram krävs undersökning av de möjliga orsakerna bakom ett problem. Därefter uppdateras diagrammet varefter nya orsaker upptäcks eller orsaker åtgärdas. Ishikawadiagram bygger inte på statistik utan syftar till att visualisera ett systems faktorer och hur de påverkar problemet (Goetsch & Davis 2016 ss. 235–237).

4.4.3 Optimal partistorlek

Genom **EPQ**, Economic Production Quantity, beräknades den optimala produktionsvolymen för varje parti i sågen. För att sedan jämföras med vad som faktiskt producerades under 2018 till Långshyttan. Beräkningen valdes att genomföras med EPQ istället för EOQ, som förekommit i andra arbeten, för att EPQ ansågs bättre tillämpbar på producerande industrier. Medan EOQ är mer applicerbar på till exempel detaljhandel. Krajewski (2013 s. 366) presenterar Economic Production Lot Size, med den årliga totala kostnaden (C), viss variation finns jämfört med formeln som Olhager (2013 s. 291) och Heizer m.fl. (2017 ss. 540–542) redovisar för EPQ. Formel 2 visar hur den totala kostnaden beräknas som den optimala partistorleken bygger på.

$$C = \frac{SD}{Q} + H * \frac{Q \left(1 - \frac{D}{P}\right)}{2}$$

1 där

$C = \text{den totala årliga kostnaden (kr)}$
 $Q = \text{partistorlek (enheter/körning)}$
 $D = \text{årlig efterfrågan (enheter/år)}$
 $S = \text{ställkostnad (kr/körning)}$
 $H = \text{årliga lagerhållningskostnaden (kr/enhet o år)}$
 $P = \text{produktionstakt (enheter/år)}$

(2)

Eftersom dessa beräkningar utförs på historiska data är flera variabler kända och frågan är om produktionen utfördes optimalt. Både efterfrågan och den verkliga partistorleken för de studerade sortimenten är kända, medan produktionstakten är den totala volym som sågades under 2018. Ställkostnaden beror på tiden för ett dimensionsbyte och produktionskostnaden.

Medan lagerhållningskostnaden består av kostnaden för kapital, den extra hanterings- och platskostnad som uppstår vid större lager, men dessa anses inte uppstå i det här fallet och är svåra att uppskatta. Dessa faktorer adderas samman med en beräknad ökad inkurans vid större lager, för att sedan multipliceras med produktens värde. Det tillsammans resulterar i lagerhållningskostnaden. Alltså består lagerhållningskostnaden i det här fallet av kostnaden för kapital, kostnaden för skador på produkten och värdet på produkten. Kapitalkostnaden beräknas genom **WACC**-formeln, Weighted Average Cost of Capital, som baseras på företagets tillgångar, lånade kapital, låneränta, avkastningskrav på eget kapital och skattesats, se formel 3 (Yard 2001).

$$WACC = \frac{E}{D + E} * r_e + \frac{D}{D + E} * R_f * (1 - s)$$

där

$E = \text{ eget kapital}$
 $D = \text{ skulder}$

$R_e = \text{ avkastningskrav på eget kapital}$
 $R_f = \text{ låneränta}$
 $s = \text{ skattesats}$

(3)

Kapitalkostnaden ökar alltså vid högre låneränta, samt vid ökade avkastningskrav. Låneräntan antogs vara 2 %, skattesatsen 22 % och avkastningskravet på det egna kapitalet var 13 % (Setra Group 2018).

För att sedan erhålla formeln för den optimala produktionsvolymen deriveras den totala årliga kostnaden i formel 2. Då funktionen sätts till noll återfinns minimikostnaden (Krajewski *et al.* 2013; Heizer *et al.* 2017 ss. 540–542). Genom att sedan lösa ut Q erhålls den optimala partistorleken (formel 4) som beror på ställkostnaden, efterfrågan, lagerhållningskostnaden och produktionstakten.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2SD}{H}} * \sqrt{\frac{P}{P - D}}$$

där

$Q = \text{ partistorlek (enheter/körning)}$
 $D = \text{ årlig efterfrågan (enheter/år)}$
 $S = \text{ ställkostnad (kr/körning)}$
 $H = \text{ årliga lagerhållningskostnaden (kr/enhet o år)}$
 $P = \text{ produktionstakt (enheter/år)}$

(4)

Som formeln visar blir Q^* större vid ökad ställkostnad och produktionstakt, medan Q^* blir mindre vid ökad lagerhållningskostnad. Beräkningarna utfördes med Excel för att även kunna skapa en känslighetsanalys genom att kunna förändra vissa variabler, och därmed se hur den optimala produktionskvantiteten och den totala årliga kostnaden ändrades vid förändrad efterfrågan, ställkostnad eller lagerhållningskostnad.

4.5 Reliabilitet och validitet

För att uppnå viss objektivitet i arbetet användes olika former av datainsamling, på så vis undersöks frågeställningarna ur olika perspektiv. Eftersom alla val som gjorts under studien på ett vis är subjektiva. Insamling av data genom olika metoder bidrog till att frågeställningen kunde trianguleras och därmed öka trovärdigheten i de resultat som metoderna mynnade ut i (Yin 2009).

Intern validitet erhöles genom att vedertagna formler och modeller användes för att studera problemet, för att ge ett så rättvisande svar som möjligt (*ibid.*). Litteraturoversikten var en viktig del för att styrka studiens metodval genom att se hur andra studier angripit liknande frågeställningar. Samtidigt har just modeller använts i arbetet och dessa tar inte hänsyn till alla påverkande faktorer som finns i verkligheten.

För att uppnå extern validitet ska studien kunna generaliseras och jämföras med andra liknande arbeten (*ibid.*). Eftersom studien är en fallstudie kan inga direkta generaliseringar utföras. Samtidigt är strukturen liknande för de flesta sågverk, vilket gör att vissa försiktiga generaliseringar kan göras i viss mån för liknande anläggningar.

Strukturen och formuleringarna i rapporten har eftersträvat att vara så tydliga som möjligt, för att läsaren lätt ska kunna följa texten, förstå hur de olika delarna knyter an till problemet och hur studien genomförts (*ibid.*). Ett till argument för en strukturerad rapport var att det ska finnas möjlighet att kunna upprepa studien vid ett senare tillfälle (Bryman 2011). Därav presenteras en blandning av text, figurer, tabeller och formler i syfte att öka reliabiliteten. Handledare på företaget läste igenom vissa kapitel för att säkerställa att informationen var korrekt. Samtidigt finns flera omvärldsstrukturer som påverkar resultatet och gör att samma slutsats förmodligen inte skulle fastställas vid ett senare tillfälle. Exempel på påverkande faktorer är låneränta, avkastningskrav, efterfrågan och råvarupris. Dessa faktorer påverkar främst resultatet av beräkningen för optimal produktionskvantitet.

Eftersom studien utförs på uppdrag av Setra skedde inget urval av fallföretag. Men företaget lämpar sig väl för den här typen av studie, eftersom sågverks komplexa flöden inte undersökts i så stor utsträckning genom att beräkna den optimala produktionskvantiteten. Samtidigt är stopporsaker hos sågverk studerat i större utsträckning, men dessa skiljer sig till viss del åt mellan varje industri. Setras sågverk i Heby lämpar sig väl för studien, eftersom det är en relativt typisk gransåg av äldre modell.

4.6 Etiska avväganden

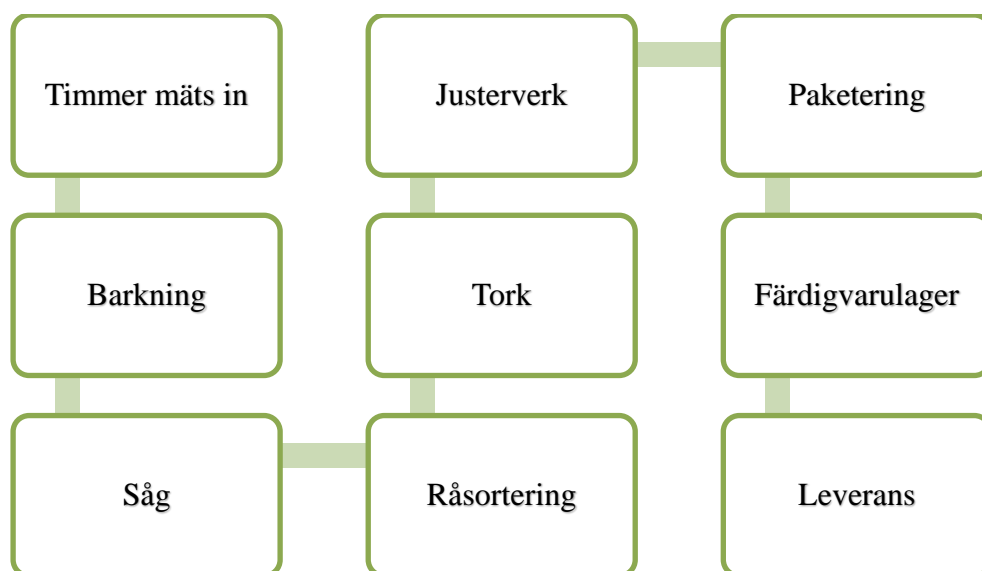
De etiska aspekterna var framförallt viktiga att ha i åtanke vid genomförandet av intervjuer. Det var viktigt att respondenterna var medvetna om studiens syfte, hur deras svar skulle användas och att deras deltagande var frivilligt (Bryman 2011 ss. 131–133). Även i de övriga delarna av studien fanns de etiska aspekterna närvarande, bland annat genom att den data som samlades in genom både intervjuer och databaser endast syftat till att besvara studiens frågeställning.

5 Bakgrund om sågverk och Setra group

Avsnittet börjar med att beskriva en grundläggande struktur för sågverk och en översiktlig beskrivning av processerna. För att sedan beskriva Setra som företag och hur Setra i Heby planerar sin produktion.

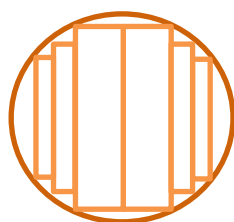
5.1 Sågverk

Antalet sågverk i Sverige har en minskande trend, där produktionen koncentrerats till färre anläggningar som specialiserat sig på vissa trädslag eller produktgrupper (TräGuiden e. 2017). Idag finns 140 sågverk som sågar mer än 10 000 m³ per år. I Figur 7 visas några huvudprocesser vid sågverk, lager visualiseras inte i bilden men beskrivs nedan. Kedjan startar med att timret anländer till sågverket från skogen, för inmätning av en virkesmätare och kvalitetsklassificering (Biometria u.å.). Virkesmätaren tillhör en virkesmätarförening och är därmed inte anställd på sågen, för att ge ett opartiskt pris till skogsägaren. Vid inmätningen sker även en sortering utifrån sågens timmerklasser (TräGuiden c. 2017). Lagring av timmer sker under de varma årstiderna med hjälp av bevattning, för att förhindra inkurans.



Figur 7. Delprocesser vid sågverket.

Timret barkas innan det fortsätter in i sågen för att sönderdelas (TräGuiden c. 2017). Den vanligaste metoden är blocksågning där stockens sidor reduceras ner till ett fyrkantigt block, för att sedan sönderdelas med klingor i en delningssåg. Av stocken erhålls ett centrumutbyte utefter den inställda postningen som ger produkten plankor, medan sidorna av blocket ger brädor (Figur 8).

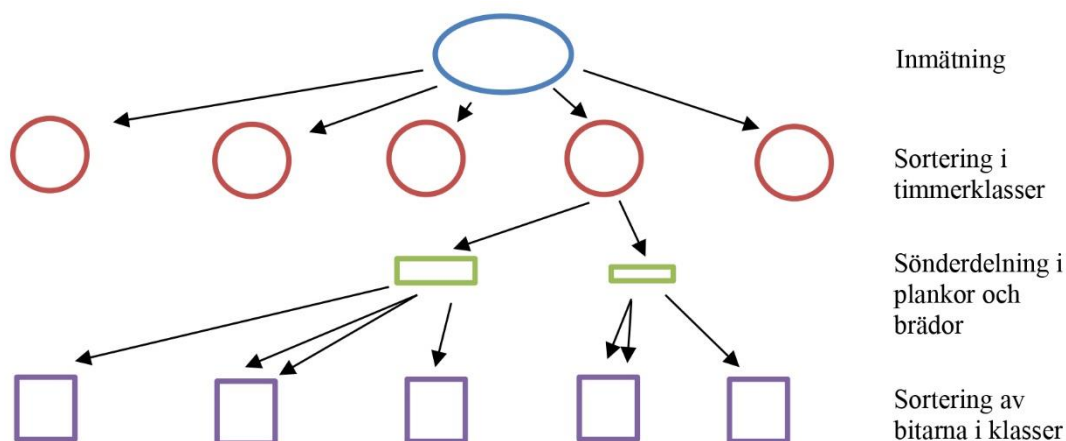


Figur 8. Ett postningsalternativ som ger två plankor som centrumutbyte och fyra brädor.

Efter sågningen sker en råsortering och ströläggning, för att plankor och brädor med samma tjocklek och målfuktkvot ska torkas samtidigt (TräGuiden d. 2017). Paketerna ställs i ett mellanlager i väntan på torkningen som kan ske i vandrings- eller kammartorkar. Sågverkets värmepanna värmer upp alla lokaler och även torkarna och eldas med restprodukter från sågverket, så som bark och torrflis. Därefter ställs de torkade paketen i ett mellanlager för att invänta justering.

Till justerverket anländer bitar av samma dimension och kvalitén bedöms utifrån bland annat kviststorlek, kvisttyp, vankantsandel, sprickbildning och mängd röta eller blånad (TräGuiden b. 2017). Utifrån bitens egenskaper kapas den slutgiltiga längden för att maximera värdet. Avvägningen står mellan längden på plankan, möjligheten att kapa bort någon defekt och vilka längder som efterfrågas för den dimensionen. I justerverket märks även bitarnas ändrar utifrån dess kvalitet och sorteras sedan i fack utifrån längd och kvalitet. Innan bitarna lämnar justerverket paketeras de om cirka 5 m³sv i varje paket med plast och blindströn, för att skyddas mot väder och smuts (TräGuiden a. 2017). Därefter placeras paketen i färdigvarulagret för att invänta leverans till kund.

Värt att notera är att det uppstår divergerade flöden i både inmätningen, sågen, och justerverket (Haartveit *et al.* 2004). Vid inmätningen kommer endast stockar in, för att sedan sorteras in i de timmerklasser sågverket har. Medan det i sågen matas in en stock och plankor eller brädor faller ut. Dessa plankor och brädor sorteras sedan både på längd och kvalitet i justerverket, Figur 9 visar en förenklad bild av flödet för att belysa de divergerade flödena.



Figur 9. De divergerade flödena vid inmätningen, sågningen och i justerverket.

I sågverksflödet blir det därmed fler och fler produkter i varje steg, det gör planeringen komplex och kräver lagringsutrymme för de olika stegen och produkterna (Haartveit *et al.* 2004).

5.2 Setra group

Setra Group ägs till 50 % av det statligt ägda Sveaskog, till 49,5 % av skogsägarföreningen Mellanskog och de sista 0,5 % ägs av mindre aktieägare (Setra Group 2018). Företaget bildades 2003 genom att Sveaskog och Mellanskogs industridelar slog sig samman (Setra u.å.). Utöver sågverken äger Setra en förädlingsproduktion i Sverige, samt ytterligare en vidareförädlingsenhet i England (Setra Group 2018). Förädlingsdelen av koncernen utvecklas i dagsläget genom att en pyrolysfabrik byggs i Kastet (Setra u.å.), samt att en KL-träproduktion planeras att starta våren 2020 i Långshyttan. I Långshyttan finns idag redan en limträ- och

komponentfabrik (Setra u.å.). De största exportmarknaderna är Europa, Nordafrika och Asien & Australien. I Tabell 3 presenteras några av 2018-års nyckeltal för Setra.

Tabell 3. nyckeltal för Setra group 2018 (Setra Group 2018)

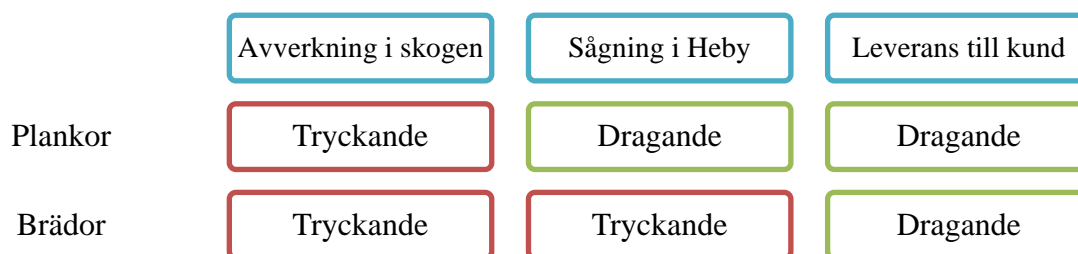
Omsättning	4,2 miljarder SEK
Resultat	230 miljoner SEK
Antal sågverk	7 st.
Anställda	861 st.
Andel kvinnor	17 %
Exportandel	65 %

Setra visar i sin årsredovisning en känslighetsanalys över några av de viktigaste faktorerna för företagets resultat, vilket visar att de priser som påverkar resultatet mest är försäljningspriset på produkterna och inköpspriset på råvara (Setra Group 2018). Analysen visar att produktpriset påverkar mer än inköpspriset vid 5 % förändring av priset.

Vid Hebys sågverk sågas grantimmer med ett brett utbud av dimensioner och produktionen för 2018 var cirka 227 000 m³sv (Setra u.å.). Av den producerade volymen går hälften på export, medan den resterande halvan levereras till den inhemska marknaden. En stor del av den volym som stannar i Sverige levereras till Setras egen vidareförädlingsanläggning i Långshyttan, för tillverkning av limträ.

5.3 Setra i Hebys planeringsstrategi

Utformningen av produktionen i Heby liknar den beskriven i Figur 7 och har likheter med många sågverk i Sverige. Enligt företaget sker idag Hebys produktionsplanering genom en årlig målproduktion från sågen som sedan jämkas med vad marknadsavdelningen förväntas sälja. Planen bryts sedan ned till kvartal, månader, veckor och till sist dagar och kopplas under tiden ihop med order från kunder. Produktionen av plankor startar först då en order finns, medan brädor kan sågas utan att en order på dem finns. Det resulterar i att plankornas kedja är en dragande process tidigare än för brädorna, se Figur 10.



Figur 10. Produktionen av plankor och brädor går över till att vara kunddriven i sista steget mot kund, innan dess är det en tryckande process.

Företaget berättar att råvarutillförseln regleras via en prislista och sedan baseras råvaruplaneringen i sågen på en timmerkurva. Alltså beroende på hur många kubik som mäts in på sågen ger kurvan det förväntade utfallet av kubik i olika timmerklasser. Själva

utgångspunkten vid planeringen av sågorder utgår idag från att ha en hög beläggingsgrad på torkarna, samt att eftersträva så högt sågutbyte som möjligt.

Högt sågutbyte eftersträvas genom att timret som kommer in sågas utefter den postning som ger högst utbyte. Sågen kan inte anpassas efter stocken som kommer in, utan postningen är fast. För att kunna erhålla högt utbyte trots att såglinjen inte är flexibel sorteras timret i 45 klasser, för att varje postning ska vara anpassad till just den diametern på stocken. Dagens produktföljd är baserad på den inkommande råvaran, så när en vält är redo sågas den. Inför att en ny timmerklass ska sågas krävs oftast en ompostning, beroende på dimensionen på centrumutbytet, vilket medför en viss ställtid. Eftersom sågen inte kan anpassas till varje stock som kommer in, utan postningen anpassas till timmerklassen.

Företaget uppger att torkarna anses vara flaskhalsen på sågverket, eftersom den kapaciteten inte kan regleras med extraskift eller likande. Så för att fylla torkarna varje gång sågas alltid ett visst antal stockar timmer. För utifrån postningen är antalet plankor kända, sedan får ett visst antal plankor plats i ett paket och ett visst antal paket får plats i en torkkammare. Hur många stockar som sågas beror även på vilken torkkammare som blir ledig, eftersom de är olika stora. För att hantera flaskhalsar beskriver Olhager (2013 s. 159) att buffertlager ska finnas innan flaskhalsen, för att dess beläggingsgrad ska hållas så hög som möjligt. Det gäller speciellt när flaskhalsen är i slutet av flödet. Men det är svårt i det här fallet, eftersom virket är som mest känsligt för inkurans efter sågen. Så för att minimera risken för inkurans eftersträvas en låg lagernivå mellan såg och tork.

Effekter av den här strategin blir bland annat att det krävs stora lager av timmer, för att en timmerklass ska få ett tillräckligt stort antal stockar för att den ska kunna sågas. Stora timmerlager ökar risken för längre lagring och därmed inkurans (Markgren & Lycken 2001), samt att ett stort kapital binds i råvarulager. Samtidigt finns en risk att postning efter det högsta sågutbytet, inte är detsamma som postningen för högst värde på produkterna, även om det ofta korrelerar (Svenskt Trä 2016). I och med att timmerklasserna och postningsalternativen är många kommer ompostning krävas oftare än vid färre timmerklasser. Vid varje ompostning måste sågen stanna, det gör att den totala ställtiden för den här planeringsstrategin är längre.

Vid en ökad efterfrågan uppger företaget att det finns en viss flexibilitet i produktionen genom att det finns möjlighet att sätta in extraskift, vilket avvärjer längre leveranstider till kunden. Om efterfrågan istället minskar kan personalen hållas intakt genom att såga mot lager. Det finns även möjligheter att blanda produkter av samma tjocklek i torken, för att kunna såga mindre partier och därmed minska volymen av råvarulager.

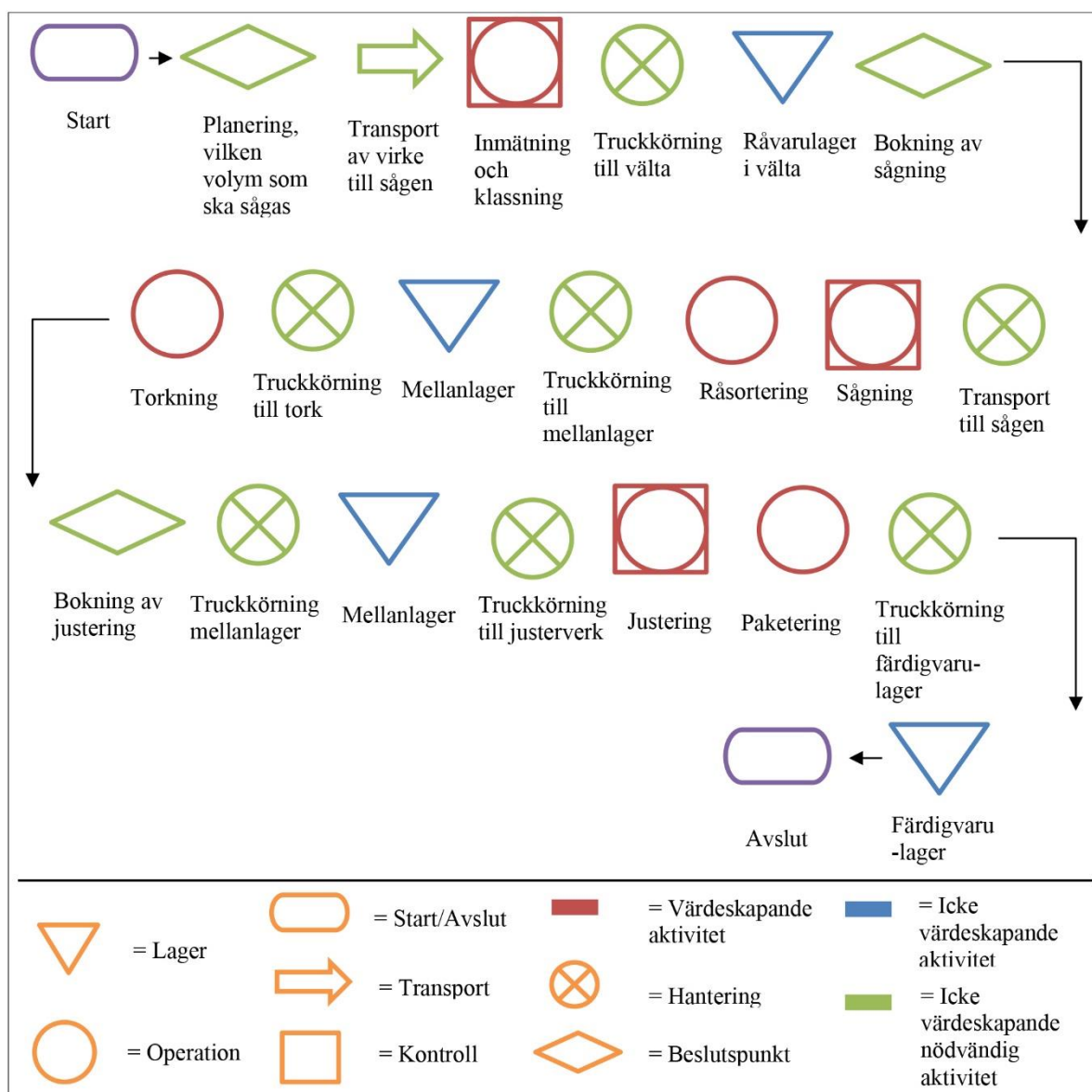
Långshyttan är mer strikta än Heby vad gäller lagernivåer och kan avvakta med att hämta beställda paket, beroende på deras lagernivåer. Det gör att Heby håller lager åt dem i viss mån, om Heby inte kan vara flexibla i sin produktion.

6 Resultat och analys

Nedan redovisas studiens analyser och vad de resulterade i. Först presenteras resultatet av processkartläggningen, varvid en stopptidsanalys och utvärdering av den optimala produktionsvolymen följer. Sist presenteras en sammanfattning av de föreslagna åtgärder som studien resulterade i.

6.1 Processkartläggning

Processkartläggningen genomfördes för varje dimension bland de studerade sortimenten och en genomsnittlig tid beräknades för dimensionerna. I Figur 11 visas ett flödesschema över produktionen, var det finns lager och var olika beslut fattas.



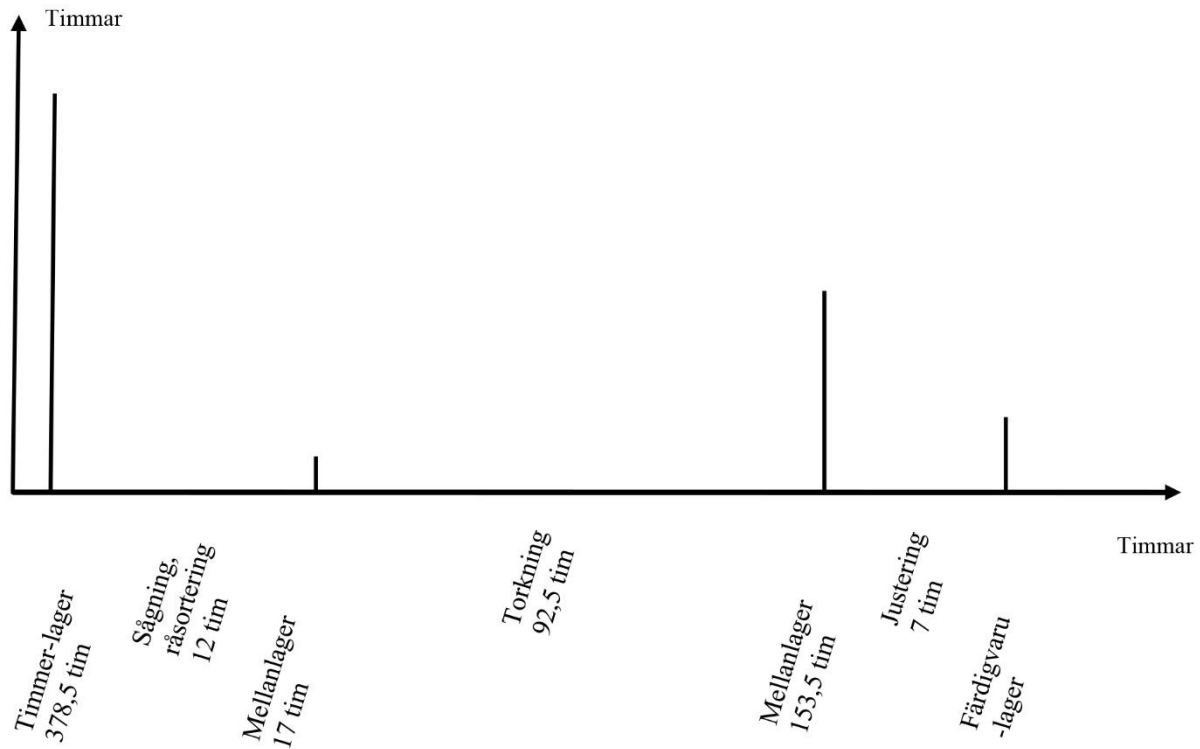
Figur 11. Flödesschema över sågverkets struktur för processer och beslut. Beteckningarna är till stor del hämtade från Olhager (2013).

Flödesanalysen visar att det är många steg i kedjan innan råvaran förvandlats till en färdig produkt och av dessa 21 steg är endast sex steg värdeskapande. Av de resterande stegen är det fyra som är icke värdeskapande, medan de övriga är klassade som icke värdeskapande men nödvändiga. Tiden produkterna befinner sig i de icke värdeskapande delarna av processen bör minimeras i största möjliga mån, för att uppnå störst ekonomisk nytta. De steg som inte anses vara värdeskapande är alla någon form av lager. Vid mindre lager eller om det stundtals skulle gå att hoppa över lagret, skulle även truckkörningen minska. I Heby sker det ibland genom att paket körs direkt från råsorteringen in torken och från justerverket till kund, därmed minskas den icke värdeskapande tiden.

I övrigt presenteras många steg och därtill kommer många olika produkter, vilket gör planeringen komplex. Vid samtal med anställda framgick det att planeringen av bokningar på justerverket försvåras eftersom dataprogrammen inte kommunicerar med varandra. Programmet Fagus används för produktionsdata från timmersorteringen, sågen och justerverket. Medan Valmatics används för styrning av torkarna och Timberplan för råvarulagret och inmätningen. Valmatics och Fagus kommunicerar dock inte med varandra vilket gör att planeraren inte vet när ett parti börjar torkas eller när det förväntas vara klart. Utan det är först när partiet torkat klart planeraren får vetskap om det och kan boka in det för justering. Den osäkerheten resulterar i ett större lager efter tork, som eftersträvas att vara minst 10 000 m³sv. En åtgärd vore alltså att göra en koppling mellan databaserna, vilket skulle leda till ett minskat mellanlager efter tork. Därmed skulle det både reducera ledtiden och minska tiden i icke värdeskapande processer.

De konsekvensprodukter som inte presenteras i Figur 11 är vrak vid inmätningen, som klassas som bränsleved, och bakar och spån vid sågningen som även det går till bränsle. Sedan uppkommer vrakning i både råsorteringen och justerverket som flisas för bränsle.

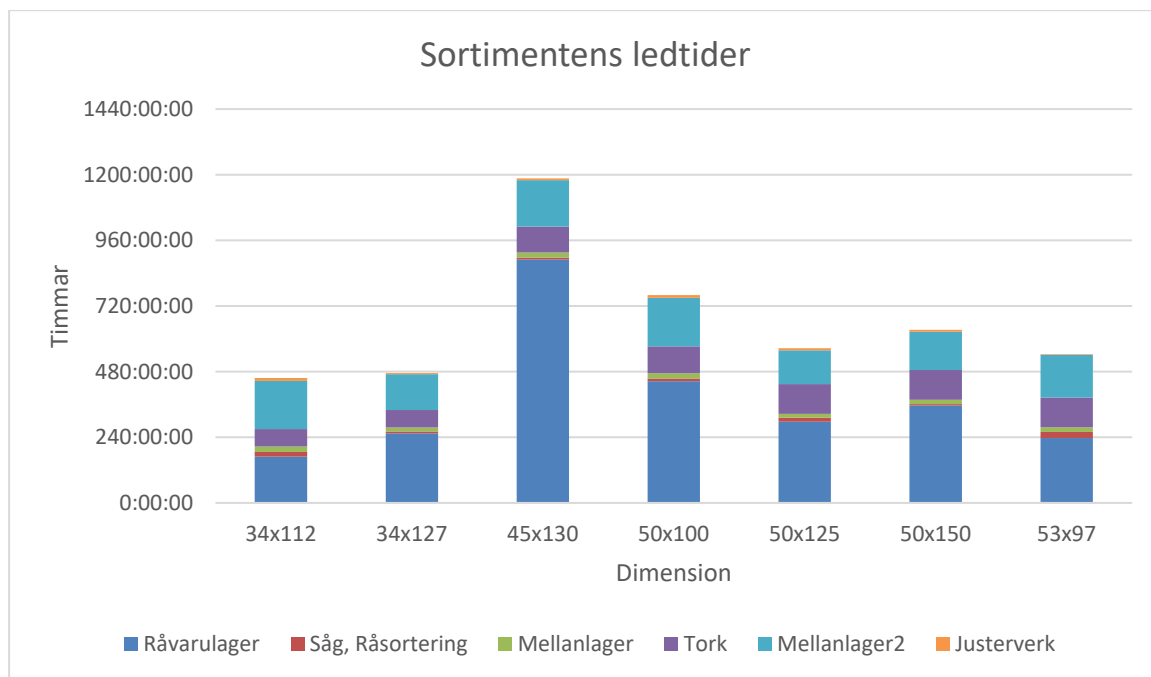
Vid kartläggningen av ledtider beräknades hur lång tid det skulle ta att få in tillräckligt med timmer för att kunna såga en order, alltså tas ingen hänsyn till hur lång tid det tar att mäta in stockarna. Eftersom den tiden inte mäts i något datasystem och det är en marginell del av tiden stockarna befinner sig i råvarulager. Ledtidskartläggningen med de genomsnittliga värdena för alla studerade dimensioner presenteras i Figur 12, siffrorna är avrundade till närmaste halvtimme. Staplarna anger tid i lager, medan de horisontella strecken visar tid i process. Studien sträckte sig till när paketen anländer till färdigvarulagret, så stapeln för färdigvarulagret syftar endast till att visa att varorna kommer befinna sig i färdigvarulagret. Ledtidskartläggningen visar att den genomsnittliga ledtiden för dessa sortiment är drygt 37 dagar.



Figur 12. Ledtidskartläggning av de studerade dimensionerna, de horisontella linjerna representerar processer, medan de vertikala visar tid i lager.

Ledtidendiagram ger en visuell överblick, där det är lätt att avgöra var lång ledtid uppstår och främst var lång lagertid uppstår. I det här fallet sker den längsta lagertiden i råvarulagret. En faktor till varför lagertiden på timmerplanen blir lång är för att timret sorteras i 45 olika klasser, vilket medför att det tar längre tid att fylla en klass än om det varit färre timmerklasser. Mellanlagret och färdigvarulagret som är staplarna längst till vänster i tabellen är dock mer kostsamma än råvarulagret, eftersom dyrare produkter lagras där.

För att visa på att ledtiden skiljer sig till viss del mellan de studerade sortimenten presenteras deras separata ledtider i Figur 13. Varje dimension har en stapel som är uppdelad i färger baserad på tiden spenderad i respektive del i kedjan.



Figur 13. De studerade sortimentens genomsnittliga ledtid per order uttryckt i timmar.

Totaltiden för de olika sortimenten varierar, där den dimension (45x130) med minst antal order har längst ledtid. Det är främst en lång tid i råvarulager som ligger till grund för den långa ledtiden. Tiden i råvarulager kan delvis härröras till att timmer som sorteras i den timmerklass som sedan sågas till 45x130 inkommer sällan. Därmed tar det längre tid att få in tillräcklig volym för att fylla en sågning. Även dimensionen 50x100 har lång ledtid och även den dimensionen har lång tid i råvarulager. I Tabell 4 presenteras ledtiden istället i dagar, där en produktionsdag baseras på hur många dagar som den delprocessen producerat. Antalet timmar per dag baseras på den genomsnittliga tiden som anläggningen varit i produktion.

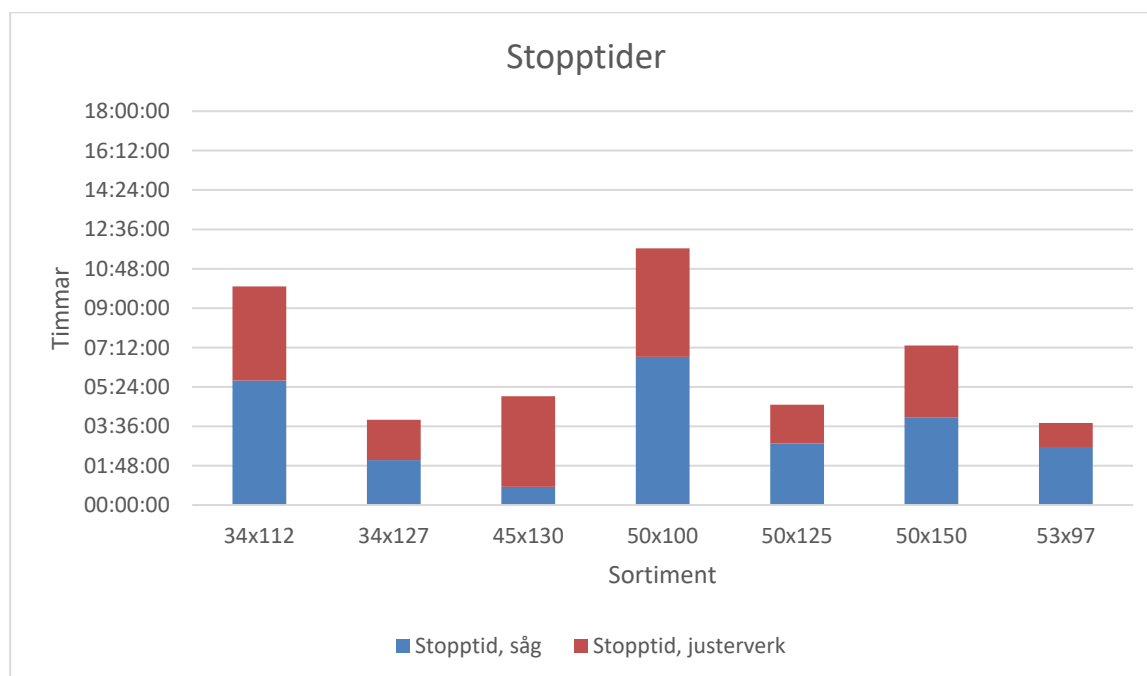
Tabell 4. Ledtiden uttryckt i dagar för de studerade sortimenten, samt den värdeskapande tiden

Dimension (mm)	034x112	034x127	045x130	050x100	050x125	050x150	053x97
Totaltid för produktion (dagar)	23,8	26,4	72,0	43,5	31,4	35,3	29,1
Värdeskapande tid (%)	21,8 %	18,5 %	12,8 %	21,4 %	26,2 %	19,2 %	25,8 %

Längst ner i tabellen visas den värdeskapande tiden uttryckt i procent, vilken eftersträvas att vara så hög som möjligt. För dessa sortiment varierar tiden i operationer att vara mellan 12,8 – 26,2 % av den totala ledtiden. Den genomsnittliga tiden för de studerade sortimenten var därmed 16,9 %. I den värdeskapande tiden ingår hela operationstiden, vilket innebär att en del av den tiden även är stopptid.

6.2 Stopptidsanalys

Vid processkartläggningen framkom det att en stor del av produktionstiden var stillastående tid till följd av olika stopporsaker. Därav följde en mer djupgående analys av stopptiderna som presenteras nedan. De stopptider som framkom vid processkartläggningen visas i Figur 14 och är genomsnittliga tider per order, alla tider presenteras i timmar.



Figur 14. Genomsnittliga stopptider i såg och justerverk per order.

Den genomsnittliga stopptiden per order varierar mellan 3 timmar och 40 minuter och 11 timmar beroende på sortiment, även stopptiden mellan sågen och justerverket varierar. Den varierade stopptiden kan bero på den genomsnittliga volymen som sågats för de olika sortimenten. Därför presenteras stopptiden uttryckt i procent av den genomsnittliga produktionstiden per order för sortimenten i Tabell 5.

Tabell 5. Stopptider för sågverk och justerverk.

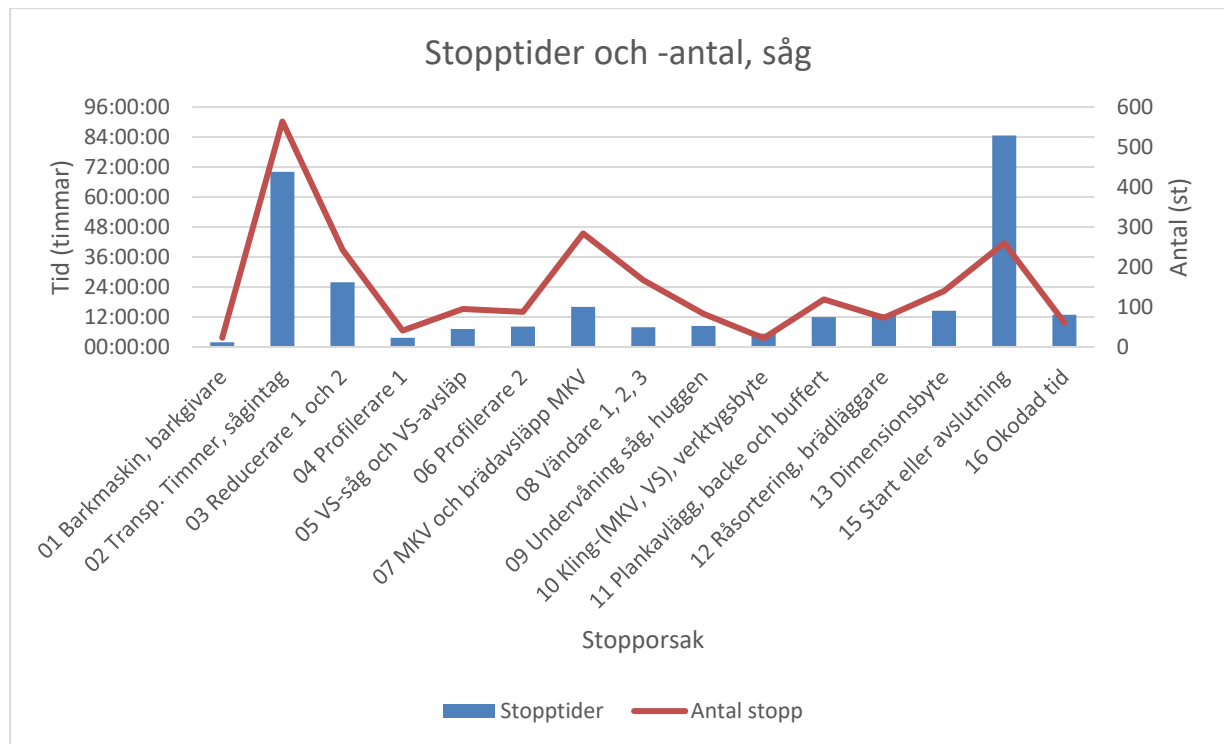
Dimension	034x112	034x127	045x130	050x100	050x125	050x150	053x97
Procentuell stopptid, såg	33,9 %	29,9 %	12,8 %	31,0 %	28,9 %	26,8 %	48,4 %
	2	3	4	5	6	7	8
Procentuell stopptid, justerverk	41,6 %	42,4 %	65,7 %	50,1 %	23,3 %	48,5 %	44,3 %
	9	10	11	12	13	14	15
Total genomsnittlig stopptid, procentuellt	36,8 %	34,8 %	38,9 %	26,4 %	33,6 %	47,1 %	36,9 %

Den totala genomsnittliga stopptiden uttryckt i procent, som beror på dimensionens produktionstid i såg och justerverk varierar mindre än den procentuella stopptiden för respektive process. För de flesta sortiment är den procentuella genomsnittliga stopptiden för både justerverk och såg kring 30 %. För några sortiment är stopptiden lägre i sågen, men det kompenseras då upp av att stopptiden är längre i justerverket.

Av stopptidsanalysen framgick även den genomsnittliga tiden för byte av dimension, vilken var 11:27 minuter i sågverket och 22:56 minuter i justerverket.

6.2.1 Stopp i sågen

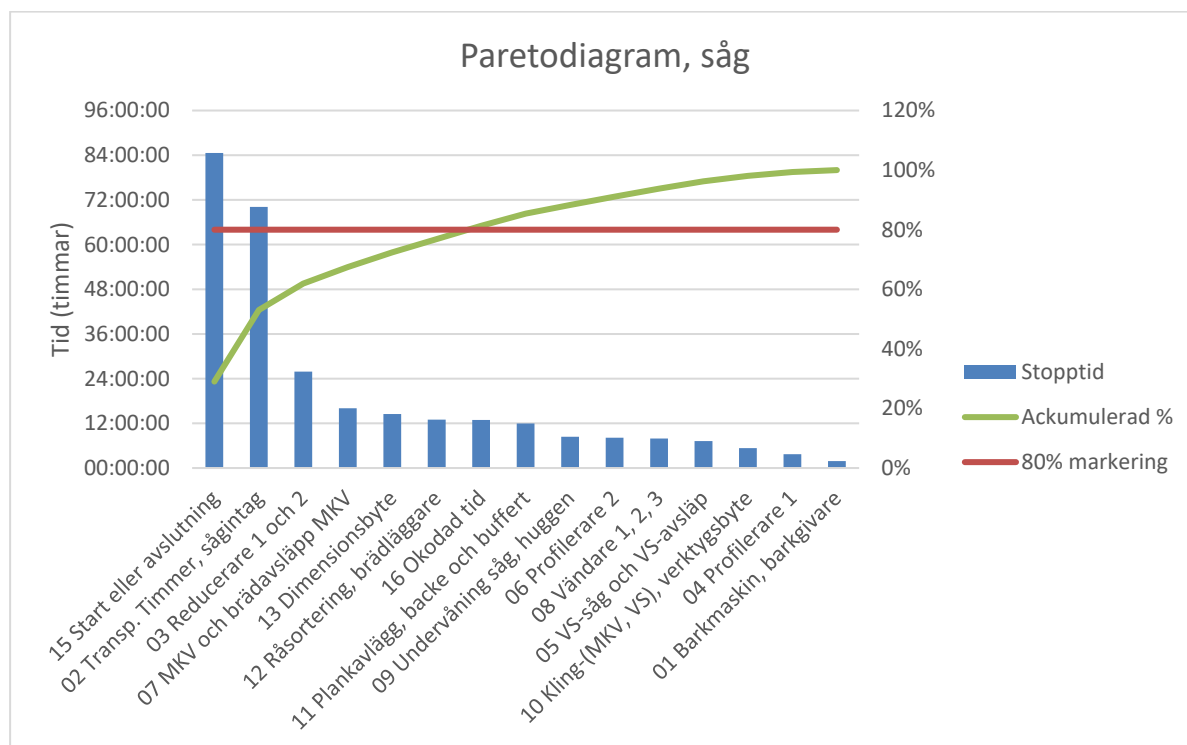
I sågen måste en felkod tryckas in då det inte passerat någon stock förbi fotoceller, placerade vid såglinjens början, under 60 sekunder. I Figur 15 presenteras antalet stopp och stopptiden under 2018, för de studerade sortimenten i sågverket. På den horisontella axeln visas de 15 olika felkoderna och staplarna i diagrammet representerar stopptiden, medan linjen visar antalet stopp.



Figur 15. Diagrammet visar stopptiden och antalet stopp i sågverket under 2018.

I diagrammet syns till exempel att felkod 15 "start eller avslutning" är den stoppsorsak som är mest tidskrävande, men inte den orsak som orsakar flest antal stopp. Vilket betyder att stoppen inte är så många, men att stoppen tar relativt lång tid. Näst längst stopptid har felkod 2 "transportör, timmer, sågintag" som även har flest antal stopp.

Om stopporsakerna istället presenteras som ett Pareto-diagram, så blir det tydligt att de två felkoderna bidrar till mer stillastående tid för sågverket än de övriga, se Figur 16.

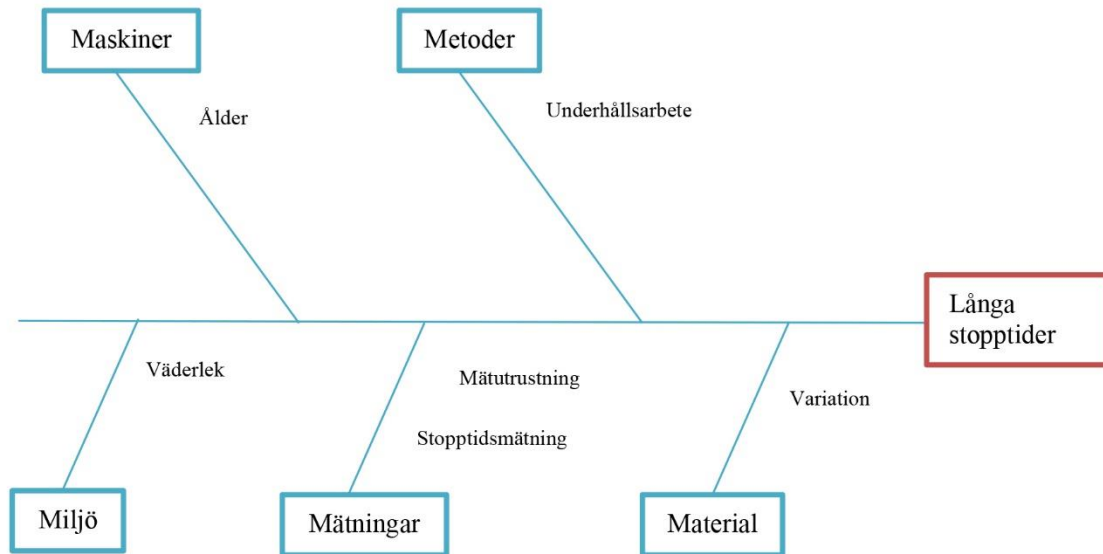


Figur 16. Pareto-diagram som visar vilka stopporsaker som bidrar mest till den stillastående tiden för sågverket.

Stopptiden vid start och avslut orsakas av det dagliga morgonmötet på 15 minuter och av ett leanstopp som är en timme varje torsdag. Stoppen som kodoas som transportör och timmerintag sker på ett stort område och är svåra att knyta till någon specifik orsak. Men skedde oftast på grund ut av sned stock vid intaget till barkmaskinen eller sned stock på samlingsbordet efter barkmaskinen.

Teorin kring Pareto-diagrammet uppfylls dock inte eftersom det är sex stopporsaker, eller 40 % av stopporsakerna, som står för 80 % av stopptiden.

För vidare utredning av vad som orsakar stopp presenteras ett Ishikawadiagram i Figur 17, orsakerna bygger på de svar som gavs vid intervjuerna med operatörerna. Några nyckelord som är en bakomliggande orsak till stopp har sorterats in under de fem olika kategorierna. Kategorierna beskriver vilket område som orsakar stoppet och därmed var åtgärder ska ske. Miljö är en kategori där det i vissa fall är svårt att åtgärda direkt, till exempel väderförhållanden, istället kan förebyggande åtgärder ofta utföras.



Figur 17. Ishikawadiagram över möjliga orsaker till långa stopptider i sågen.

Eftersom såglinjen är gammal, är många delar slitna och det krävs ett större underhåll för att inte få oplanerade stopp. Därmed avsätts en större andel av produktionstiden till planerat underhållsarbete jämfört med en ny såglinje. Metodiken för underhållsarbetet sker främst när något går sönder, men delvis i förebyggande genom planerade underhållsstopp. Operatören bedömer att det går att se när maskindelar börjar bli slitna i vissa fall.

Väderleken påverkar stoppförekomsten i sågen genom att när det är kallt går saker lättare sönder, samt att till exempel transportörer och kedjor fryser fast vid väderomslag. Dessutom ökar osäkerheten i mätningen av stockarna, eftersom de kan vara täckta med is och snö.

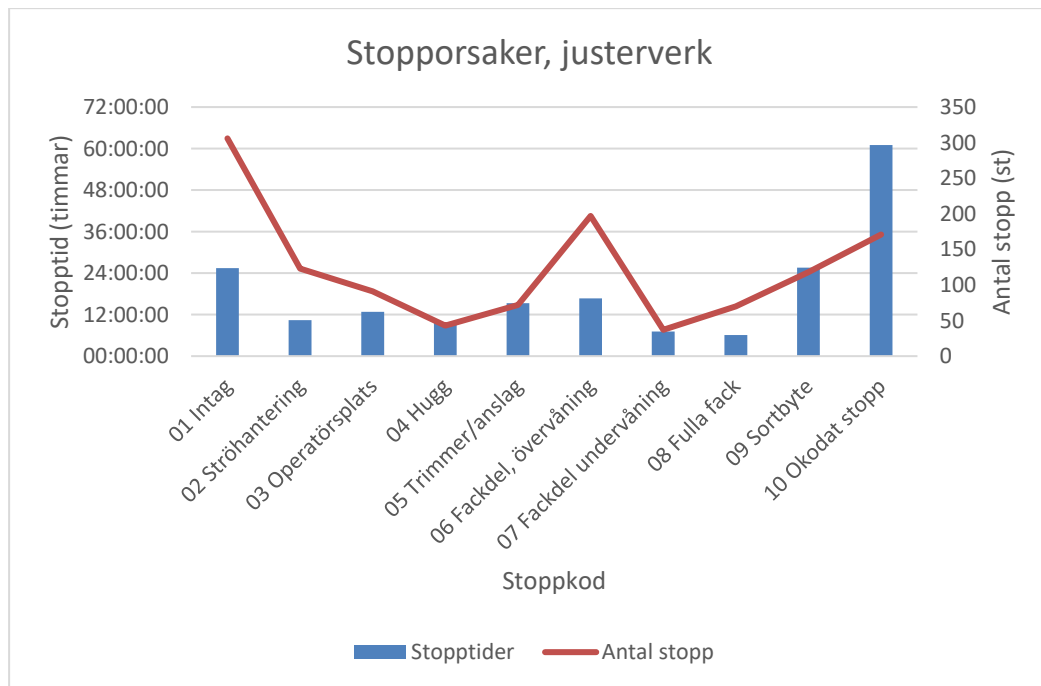
Måtten på stockarna skiljer sig mellan timmermätningen och sågen, eftersom de har olika mätutrustning. Dessutom mäts stockarna in med bark vid timmermätningen, för att sedan mätas barkade i sågen. Det finns ett visst fel vid antagandet av barkens tjocklek vid inmätningen, samt ett mätfel efter barkhuset i sågen som har en annan mätutrustning. Följden av dessa olika mått blir att en del virke måste mätas om.

Stopptidsmätningen ger olika felkoder för olika områden i såglinjen. Vissa av dessa områden är rätt stora vilket försvårar utredningen av vad som faktiskt orsakar stoppet.

Variationen i stockarna kan bidra till stopp genom till exempel att de är sneda eller kan vara skadade så att de går av. Dessa stopp förekommer främst i intaget och vid reducerare 1 och 2.

6.2.2 Stopp i justerverket

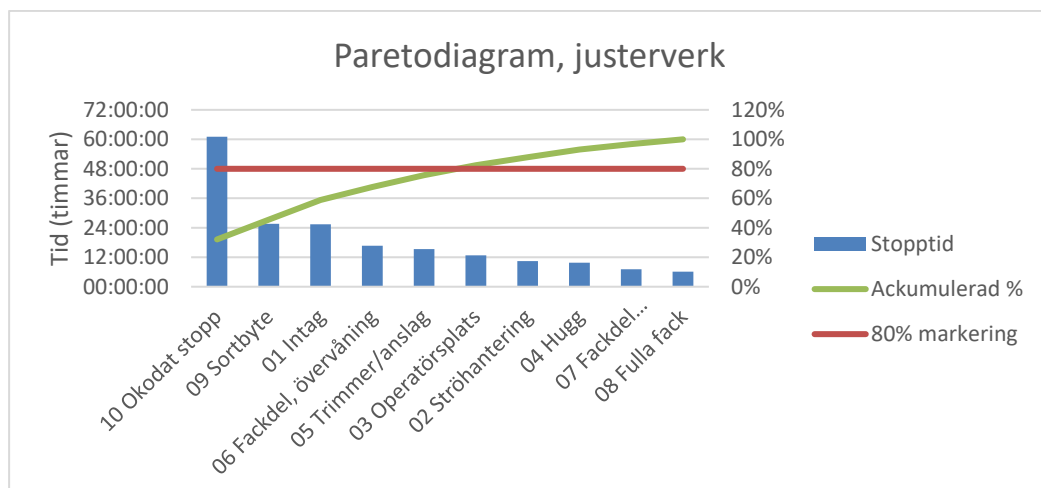
I justerverket var den stillastående tiden högre procentuellt än i sågen, medan den faktiska tiden var längre i sågen. I Figur 18 presenteras justerverkets stopporsaker och stopptider för 2018 i ett kombinerat diagram, sorterat på justerverkets tio felkoder.



Figur 18. Justerverkets stopporsaker på den horisontella axeln, där stolparna visar stillastående tid, medan linjen redovisar antalet stopp.

Den stopporsak som var vanligast förekommande var 01 ”intag”, men stoppen var inte så långa. Vilket gör att både 10 ”Okodat stopp” och 09 ”Sortbyte” har längre stopptider. Även felkoden 06 ”fackdel, övervåning” har ett stort antal stopp, men de är relativt korta, vilket gör att de inte påverkar stopptiden i så stor utsträckning.

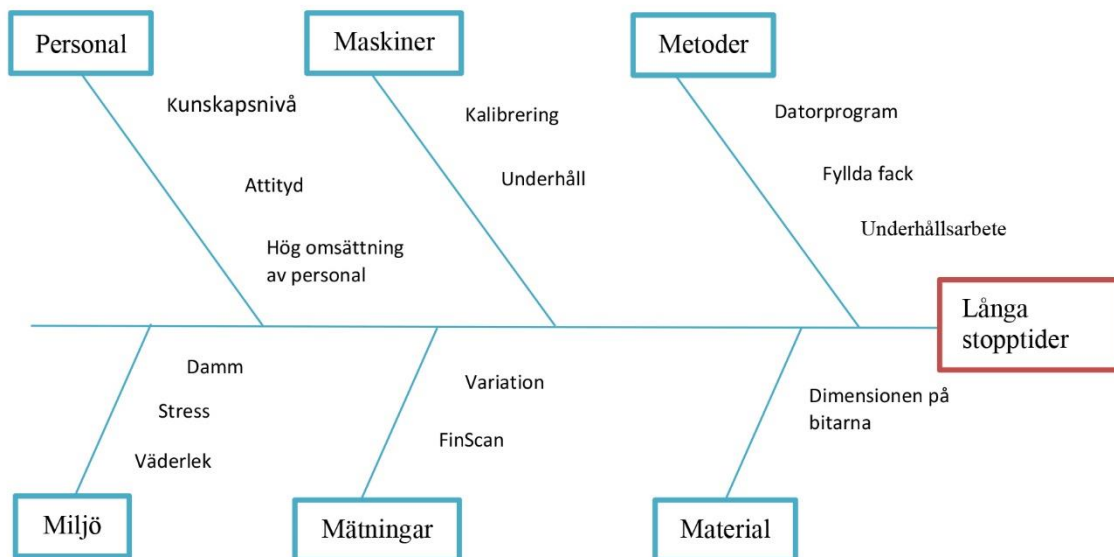
Pareto-diagrammet för justerverket visar att 10 ”Okodat stopp”, 09 ”Sortbyte” och 01 ”Intag” är de felkoder som bidrar med mest stopptid, se Figur 19. Tydligt är att 10 ”Okodat stopp” står för en stor del av stopptiden. Men inte heller här gäller Paretos samband, utan fem felorsaker måste ackumuleras för att uppnå 80 %.



Figur 19. Pareto-diagram över justerverkets stopporsaker, där den gröna linjen visar den ackumulerade procentuella stopptiden.

Vid intervjuerna framgick det att de okodade stoppen främst var tid för möten, till exempel morgonmöten, möte med chef eller avstämning mellan operatörer. Sortbytestiden är då en dimension justeras och det sedan byts till en annan dimension.

Svaren från intervjuerna sammanställdes i ett Ishikawadiagram som presenteras i Figur 20, långa stopptider sattes som effekt längst till vänster. Medan orsakerna kategoriserats som personal, maskiner, metoder, miljö, mätningar och material.



Figur 20. Ishikawadiagram över möjliga orsaker till långa stopptider i justerverket.

En varierande kunskapsnivå på de anställda leder till att fel inte upptäcks lika fort, eftersom det krävs viss erfarenhet för att snabbt kunna se att justeringen inte är helt korrekt och därefter stoppa produktionen och felsöka problemet. Det finns även olika attityder på de anställda, vilket påverkar kunskapsnivån och engagemanget till utveckling i och av arbetet. Vid intervjuerna framgick det även att ett visst skifte av personal skett, genom pensionsavgångar och att personal flyttats från justerverket till sågen, vilket lett till flera nya operatörer.

I kategorin maskiner ses underhållet och kalibreringen som två stora orsaker som lett till att kedjor inte går helt jämt och det i sin tur leder till att bitar hamnar snett och skapar stopp. Sedan ansågs kolvarna som öppnar och stänger facken vara en anledning till de stopp som orsakades av fackdelen på övervåningen. Stoppen skedde genom att kolvarna inte var tillräckligt kalibrerade, samt att de ansågs vara slitna.

Vid sortbyten så ska inställningarna för den nya dimensionen normalt matas in i två datorer, tre om hållfastheten ska mätas, för att sedan uppdateras i två. Det gör att sortbytestiden blir längre, jämfört med om alla datorer använt samma programvara som sedan synkat sig mellan datorerna. Alla rapporter tas nu ut av operatörerna för det tidigare justerade sortimentet, istället för som tidigare när en tjänsteman skötte den uppgiften. Fyllda fack leder till stopptid när paketeringen inte hinner med att paketera i samma takt som justeringen sker på övervåningen eller när facken töms vid sortbyte. Underhållsarbetet nämns också i metodkategorin, där saker byts när de går sönder. Det förebyggande arbete som sker är smörjning och städning. De intervjuade ansåg att det ofta går för långt innan något byts. Samtidigt ansåg de att det är svårt att se om något är på väg att gå sönder vid det dagliga arbetet. Ytterligare en sak som framgick vid intervjuerna var att stopp i intaget ibland beror på att paketen har blivit dåligt behandlade av truckförarna och därmed är sneda.

Miljön i justerverket anses påverka stopptiderna genom att dammet från kapningarna ibland bryter fotoceller. En annan miljöorsak som skapar stopp är när temperaturen är under noll, vilket leder till att torkströna lätt fryser fast i paketet och skapar problem vid avströningen. Problemet följer sedan med längre fram i justerverket, genom att strön följer med virkesbitarna vilket leder till att de lätt hamnar snett. På vintern krävs då att en ur personalen står vid tilten för att hjälpa till att få bort ströna, vilket leder till att de blir en person kort på en annan station. Personalantalet lyftes som ett problem, genom att de anser att det skulle behöva en person till, för att hinna med bättre och inte ha samma stress i arbetet.

Mätningarna i justerverket utförs till stor del av FinScan, som bedömer bitarnas kvalitet genom fototeknik, klassningen fungerar överlag bra, men måste kompletteras av att operatören bedömer röt- och blånadsskadat virke. Bedömningen av operatören kan variera beroende på vem som utför bedömningen.

Med materialet avses främst insatsmaterialet i form av plankor eller brädor, som förekommer i många olika dimensioner. Det är främst ytterlighets dimensionerna som leder till stopptider i justerverket, alltså den klenaste dimensionen 16x100 och den grövsta 100x200. Där den klenare ofta orsakar många korta stopp och den grövre få längre stopp.

Ett intryck som erhöles av intervjuerna var att både justerverket och sågen hade koll på vilka problemområden som fanns och vad som orsakade dem. Men i sågen fanns ett mer kontinuerligt arbete för förbättring och personalen jobbade tillsammans för att lösa dem. Det upplevdes att det arbetet inte fanns i justerverket och att personalen upplevde att det inte fanns tid för förebyggande arbete.

6.3 Optimal produktionskvantitet

Här presenteras de resultat som erhöles genom beräkningar med formel 4. Nedan i formel 5 visas samma formel, men med ingångsvärdena för dimension 34x112, där resultatet är den optimala produktionsvolymen per sågning.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2SD}{H}} * \sqrt{\frac{P}{P-D}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2*9\,016*5\,908}{200}} * \sqrt{\frac{245\,466}{(245\,466-5\,908)}} = 740\text{m}^3\text{sv}$$

där

(5)

Q = partistorlek (enheter/körning)

D = årlig efterfrågan (enheter/år)

S = ställkostnad (kr/körning)

H = årliga lagerhållningskostnaden (kr/enhet o år)

P = produktionstakt (enheter/år)

Den optimala produktionsvolymen ges alltså av ställkostnaden, som är densamma för alla dimensioner, den efterfrågade kvantiteten av dimensionen 34x112, lagerhållningskostnaden, som även den är samma för alla dimensioner, och produktionstakten för hela sågen under 2018. Det är därmed endast efterfrågan som varierar vid beräkning för de olika dimensionerna. Resultaten för alla dimensioner visas i Tabell 6.

Tabell 6. Sammanställning av resultat erhållna av beräkningen för optimal produktionskvantitet för sågen

Dimension	34x112	34x127	45x130	53x097	50x100	50x125	50x150
Beräknad optimal volym (m ³ sv)	740	799	431	882	641	816	641
Producerad genomsnittlig volym 2018 (m ³ sv)	281	458	510	1 039	406	1 023	343
Beräknad totalkostnad vid produktion av Q* (kr)	144 038	154 978	85 320	169 959	125 581	158 174	125 581
Beräknad verklig totalkostnad 2018 (kr)	216 730	179 639	86 526	172 249	138 930	162 218	150 846
Procentuell skillnad i partivolym mellan den beräknade och verkliga produktionsvolymen	163 %	75 %	-15 %	-15 %	58 %	-20 %	87 %
Skillnad i totalkostnad (kr) mellan den beräknade och verkliga produktionsvolymen	-72 692	-24 661	-1 206	-2 290	-13 349	-4 044	-25 265

Vissa sortiment visar stora skillnader mellan den beräknat optimala volymen och den volym som faktiskt sågades 2018 för de angivna sortimenten. Det som är genomgående är att ställkostnaden är så pass hög att det lönar sig att såga stora volymer och därmed posta om sällan. Ställtiden beror på produktionskostnaden och den tid som det tar att posta om, därmed är det den höga produktionskostnaden som gör att det lönar sig med längre körningar.

Längst ned i tabellen sammanfattas skillnaderna i produktionsvolym och totalkostnad mellan den beräknat optimala produktionsvolymen och den genomsnittliga volymen som sågades 2018. Till exempel 34x112 ska alltså enligt beräkningen sågas i 1,63 gånger så stora kvantiteter, vilket kommer leda till minskade kostnader om 72 692 kronor per år för sågning av 34x112.

Men för att kunna såga stora partier, krävs råvara i rätt timmerklass, vilket leder till att råvarulagrets volym behöver öka för att rätt råvara ska finnas tillgänglig. Alternativt att timret sorteras i färre klasser, men det leder i sin tur till ett minskat utbyte.

Den här beräkningen bortser även från hur den optimala volymen stämmer överens med den torkkapacitet som finns och vilken volym som fyller en kammare.

En känslighetsanalys genomfördes för att undersöka hur den optimala produktionskvantiteten förändrades om efterfrågan, ställkostnaden och lagerhållningskostnaden förändrades med 10 %. Resultatet presenteras i Tabell 7, där den tidigare beräknade optimala produktionskvantiteten visas som referens högst upp, alla siffror är uttryckta i m³sv.

Tabell 7. Den optimala partistorleken (m³sv) för olika efterfrågan, ställkostnader och lagerkostnader

Dimension	34x112	34x127	45x130	50x100	50x125	50x150	53x97
Beräknad produktionskvantitet	740	799	431	641	816	641	882
Efterfrågan +10%	777	839	452	673	858	673	926
Efterfrågan -10%	701	757	409	608	773	608	835
Ställkost. +10%	776	838	452	672	856	672	925
Ställkost. -10%	702	758	409	608	775	608	836
Lagerkost. +10%	705	762	411	611	778	611	841
Lagerkost. -10%	780	842	454	676	861	676	929

Tabellen visar att den optimala kvantiteten per körning ökar då efterfrågan och ställkostnaden ökar med 10 %, samtidigt som den optimala kvantiteten minskar då lagerhållningskostnaden ökar. Eftersom en ökning av ställkostnaden gör det ännu dyrare att stå still eftersträvas körningarna att vara så långa som möjligt. En ökad lagerhållningskostnad gör det dyrare att ha produkter stående i lager, vilket medför mindre volymer i varje sågning.

Förändringen i den totala årliga produktionskostnaden för varje dimension beräknades också genom en känslighetsanalys och presenteras i Tabell 8, kostnaden uttrycks i kronor.

Tabell 8. Den totala årliga kostnaden (kr) för olika efterfrågan, ställkostnader och lagerkostnader

Dimension	34x112	34x127	45x130	50x100	50x125	50x150	53x97
Ingen förändring	144 038	154 978	85 320	125 581	158 174	125 581	169 959
D + 10 %	150 882	162 308	89 447	131 589	165 645	131 589	177 942
D - 10 %	136 815	147 236	80 976	119 247	150 282	119 247	161 520
S + 10 %	151 069	162 542	89 484	131 711	165 894	131 711	178 255
S - 10 %	136 647	147 025	80 942	119 137	150 057	119 137	161 237
H + 10 %	151 069	162 542	89 484	131 711	165 894	131 711	178 255
H - 10%	136 647	147 025	80 942	119 137	150 057	119 137	161 237

Tabellen visar att de totala årliga kostnaderna ökar då samtliga variabler ökar och sjunker då de minskar. Det korrelerar med att den optimala produktionsvolymen ökar för efterfrågan och ställkostnaden. Medan den totala årliga kostnaden ökar när lagerhållningskostnaden ökar, trots att den optimala produktionsvolymen sjunker.

7 Diskussion

Diskussionskapitlet är uppdelat utefter de tre frågeställningarna. Ledtiden diskuteras i det första avsnittet, medan stopptiderna och dess orsaker analyseras i den andra delen. Därefter diskuteras resultatet från beräkningen av den optimala produktionskvantiteten. Avslutningsvis resoneras det kring lämpligheten i metodvalet och hur mycket som kan generaliseras.

7.1 Resultat- och analysdiskussion

7.1.1 Hur skiljer sig ledtiden mellan olika sortiment?

Leditiden varierar mellan de olika dimensionerna, vilket till stor del beror på tiden timret ligger i råvarulagret. Tiden i råvarulagret beror i sin tur till stor del på timmerkurvan som beskriver vilka timmerklasser som förväntas anlända till sågen med rådande prislista. Samtidigt är kostnaden för lager senare i kedjan mer kostsam för företaget, vilket innebär att små lager speciellt eftersträvas i mellanlagret efter tork och i färdigvarulagret. Ett sätt att minska tiden i råvarulager vore att minska antalet timmerklasser, men det skulle leda till ett lägre utbyte i sågen. Frågan blir då hur stor förlusten i intäkter skulle vara till följd av ett lägre utbyte, jämfört med nyttan av ett mindre råvarulager. En mindre volym i råvarulager skulle frigöra kapital och inkuransen skulle minska. Dagens timmerklasser ligger väldigt nära varandra, det kan skilja en centimeter i diameter mellan två timmerklasser. Vilket kräver att mätutrustningen är exakt, så att inte timmer hamnar i fel klass. Det kan vara extra svårt under vintern när timret kan vara täckt av snö och is. Den omständigheten skulle motivera att ha färre timmerklasser under vintern, eftersom det är svårare att mäta in timret i rätt klass, samtidigt är inte lagringsskador ett lika stort problem under vintern. Ett argument för att maximera utbytet är att råvaran är den största kostnaden för sågverket. Det som skulle motivera ett lägre utbyte är om produkten som framställs skulle ge ett högre pris. För känslighetsanalysen som presenteras i Setras årsredovisning visar att sågverken är känsligare för förändringar i produktens värde jämfört med råvarans pris (Setra Group 2018).

Den värdeskapande tiden eftersträvas att vara så hög som möjligt, bland annat för att minimera volymen material som binds i värdekedjan. Haartveit (2004) visade i sin studie att den icke värdeskapande tiden för tre sågverk i västra Kanada var mellan 75-85 %. Det ligger i linje med de studerade sortimenten, vars genomsnittliga värdeskapande tid var 16,9 %. Gemensamt för båda studierna var att merparten av tiden bestod av tid i råvarulager. Som diskuterats ovan skulle färre timmerklasser leda till kortare tid i råvarulagret.

Enligt teorin ska en flaskhals aldrig riskera att stå still, men eftersom torken i det här fallet är flaskhalsen och virke är en färskvara eftersträvas ett så litet mellanlager som möjligt innan tork. Det får ses som motiverat då kostnaden för inkurans skulle öka avsevärt vid ett större lager, eftersom träet är som mest känsligt när det är nysågat och fortfarande fuktigt. Under vintern finns dock inte samma risk för inkurans, vilket gör att ett större lager innan tork skulle vara möjligt för att säkerställa att torkkapaciteten utnyttjas maximalt.

7.1.2 Vilka sopporsaker kan identifieras?

Stopporsakerna som orsakade längst stopptid i både justerverket och sågen var de som kopplades till underhåll och möten. Men den tiden får anses vara motiverad, eftersom den har i syfte att förebygga reparationer och för att föra en dialog med personalen. Utöver den tiden var det intaget i både sågen och justerverket som bidrog med många stopp. För sågen berodde det till stor del på att stockarna kom snett in i barkmaskinen eller på samlingsbordet. Samtidigt är

det en felkod som gäller för ett stort område. För vidare uppföljning av just den delen skulle fler felkoder underlätta identifieringen av problemet. Hos justerverket orsakades de flesta stoppen i intaget av torkström som fastnat, bitar som hamnar snett eller dåligt behandlade paket. De dåligt behandlade paketen av truckförarna beror antagligen på att de skyndar på sitt arbete, utan att inse att det förlänger arbetstiden för nästa del i kedjan. Därmed förloras den tid de sparade in, genom att stopptid uppstår vid avströmningen i justerverket.

På justerverket bidrog de klenare dimensionerna till fler stopp än de övriga sortimenten, vid intervjuer med personalen framgick det att det tidigare gått att justera klenare dimensioner utan den här mängden stopp. Det personalen ansåg var anledningen till ett ökat antal stopp, var att anläggningen var sliten och inte inställd för att justera klena dimensioner. Men eftersom Heby sågar många olika dimensioner, måste anläggningarna fungera bra för de vanligaste dimensionerna. Därmed kan det bli oundvikligt att ytterlighetsdimensionerna blir svårare att köra i anläggningen. Alternativet är att produkterna begränsas till sådana dimensioner som passar anläggningen, för att minska antalet stopp. Konsekvensen kan bli ett lägre utbyte i vissa timmerklasser och förlorade kunder.

En del i att reducera ledtiden var att även lagervolymen skulle minska som följd, men arbetet har visat att osäkerheten i produktionsprocessen påverkar lagervolymen hos företaget. Stopptidsanalysen visade långa stopptiderna i främst justerverket, som gör att säkerhetslager behövs finnas mellan de olika delprocesserna i systemet. För att säkra att en delprocess fortsatt kan köras även om den innan står still.

7.1.3 Vilken är den teoretiskt optimala produktionsvolymen per parti?

Enligt teorin kan en kortare ledtid uppnås genom att producera mindre partier och därmed få ett snabbare genomflöde. Det argumentet bidrog till att den optimala partistorleken för sågen beräknades med hypotesen att resultatet skulle vara en mindre volym än den som sågas idag. Beräkningarna visade dock på motsatsen, att en större volym timmer bör sågas vid varje körning för att uppnå den ekonomiskt optimala kvantiteten. Den huvudsakliga anledningen till det resultatet är att produktionskostnaden är hög och därmed blir varje stillastående minut dyr. För även vid en applicering av SMED i sågen, så ställtiden skulle bli under tio minuter, skulle det innebära en ökad produktionsvolym per körning jämfört med volymen som produceras idag. I sågen var ställtiden nära tio minuter redan idag och en stor del av den tiden består ut av att byta klingor, vilket medför ett produktionsstopp. I justerverket var ställtiden drygt 20 minuter och skulle kunna motivera en implementering av SMED. Intervjuerna visade på att det idag är svårt att hinna förbereda ett sortbyte, samt att det är omständligt med flera datorer. Det skulle antagligen krävas någon typ av investering i programvara för att förenkla sortbytet, men samtidigt finns det en stor möjlighet att reducera ställtiden. En reducerad ställtid antas kunna medföra en lägre årlig produktionskostnad med mindre produktionsvolym per körning både i sågen och i justerverket, vilket känslighetsanalysen visade för sågen.

Broz m. fl. (2019) har som slutsats att det till stor del handlar om kompromisser mellan olika mål inom den skogliga värdekedjan. Eftersom värdekedjan är så komplex är det svårt att en optimering ska ge en rättvisande bild av verkligheten. Kompromisser kommer därmed göras mellan olika mål, både i verkligheten och i en förenklad simulering. Optimeringen kan även vara svår att implementera i verkligheten, eftersom den oftast inte tar hänsyn till alla aspekter av problemet och därmed kan värdekedjan riskera att bli sub-optimerad. I den här studien då den ekonomiskt optimala produktionsvolymen beräknades beaktades endast sågens variabler. Om resultatet implementerades skulle det leda till ett större råvarulager, för att den specifika

timmerklassen skulle kunna fyllas för en hel körning. Dessutom finns risk att torkkapaciteten inte skulle räcka för en så stor volym.

Känslighetsanalysen påvisade att den totala årliga kostnaden ökar med ungefär lika mycket, oavsett vilken av variablerna som ökades med 10 %. Alltså är produktionskostnaden relativt fast då en specifik volym ska produceras. Det som skilde variablerna åt var att volymen för varje körning minskade då lagerhållningskostnaden ökade, eftersom det blir dyrare att ha paket stående i lager.

7.2 Metoddiskussion

En processkartläggning lämpar sig bättre på produktioner med konvergerande flöden och helst ska den utföras på endast en industri, ett trädslag eller en produkt, för att få en rättvisande bild (Haartveit *et al.* 2004). För då divergerande flöden och flera produkter ska visualiseras blir kartläggningen väldigt komplex, om den ska vara korrekt. Då försvinner delvis syftet med kartläggningen, eftersom den till stor del syftar till att ge en översiktlig bild över ett system och hur de olika processerna påverkar varandra. I den här studien gav processkartläggningen en översiktlig bild, som till stor del bortsåg från konsekvensprodukterna och endast följde huvudprodukternas väg genom systemet.

En begränsning i teorin kring optimal produktionskvantitet är att den förutsätter flera antaganden, till exempel konstant efterfrågan vilket det sällan är. Vid dessa beräkningar används den faktiska efterfrågan, vilket gör att variationen i efterfrågan inte påverkar beräkningarna. Men vid applicering på framtida order kommer det påverka den optimala produktionskvantiteten. Dessutom gör formeln det svårt att ta hänsyn för andra begränsande faktorer, vilket resulterar i en inte helt realistisk bild och ett mindre trovärdigt resultat. För som Broz m.fl. (2019) konstaterade resulterar modeller med flera målvariabler i mer realistiska och applicerbara resultat. Eftersom produktionsplaneringen är komplex vid ett sågverk skulle därmed en mer avancerad modell varit fördelaktig. Samtidigt har EPQ-modellens enkelhet en fördel då den lätt kan beräknas och visa på vilka kostnader som påverkar produktionskvantiteterna i störst utsträckning.

För beräkning av den ekonomiskt optimala produktionskvantiteten antogs värdet för inkurans till 5 %, alltså att fem procent av det virke som lagras får kvalitetsfel så att värdet minskar. Det antas vara ett rimligt värde efter diskussion med anställda på företaget. Men det kan finnas approximationsfel, vilket skulle påverka lagerhållningskostnaden. En procentenhet mer eller mindre i inkurans påverkar lagerhållningskostnaden med 6–7 %, vilket i sin tur påverkar den optimala produktionskvantiteten. Låneräntan som i den här studien antogs vara 2 % kan förändras över tid och även den påverkar då den optimala produktionskvantiteten. För likt inkuransen påverkar den lagerhållningskostnaden.

Studiens resultat kan inte generaliseras för andra gransågverk, eftersom data är specifik för sågverket i Heby. Dock finns det många likheter mellan den här sågen och andra sågar i samma storlek, därmed kan metoderna användas för att erhålla svar på samma frågor på andra ställen.

8 Slutsatser

Studiens syfte var att identifiera åtgärder i sågverkets processer för att reducera ledtiden. Metoden utformades i tre delar som syftade att besvara studiens tre frågeställningar. Analysen av sågverkets ledtider resulterade i en ledtidskartläggning som visade att merparten av tiden för produkterna tillbringades i lager, framförallt i råvarulager. Det fanns skillnader mellan sortimenten, men inga mönster kunde identifieras.

Stopptidsanalysen visade att sågen och justerverket står still omkring 30 % av produktionstiden. En stor del av tiden är för planerat underhåll och i övrigt stod intaget för flest stopp. Anläggningens ålder ansågs stå för en stor del av de stopp som sker, men även väderlek och arbetsmetodik påverkade stoppmängden. Åtgärder som ansågs minska stopptiden var förebyggande underhåll och reduktion av ställtiden.

Beräkningarna av den optimala produktionsvolymen visade att det ekonomiskt optimala för sågen vore att såga större volymer för varje postning. Eftersom produktionskostnaden för sågen är hög i förhållande till lagerhållningskostnaden, därmed kostar det mycket att stanna sågen och volymen per körning bör eftersträvas att vara hög. Här skulle en reducerad ställtid möjliggöra mindre produktionskvantiteter.

Studien ger därmed följande förslag på åtgärder:

- Se över rutinerna för sortbyte i sågen, i syfte att minska ställtiden enligt SMED.
- Se över rutinerna för sortbyte i justerverket, koppla samman datorprogrammen för att underlätta inmatningen av den nya justeringen, i syfte att reducera ställtiden enligt SMED.
- Få torkens datorprogram att kommunicera med planeraren, i syfte att minska mellanlagret efter torken.
- Införa mer förebyggande underhåll på justerverket.

8.1 Generaliseringar och studiens bidrag

Då studien utförts som en fallstudie går det inte att göra generaliseringar, eftersom data är specifik för fallföretaget. Liknande anläggningar skulle dock kunna använda beräkningsmodellerna och metoden.

Studien har gjort ett metodbidrag genom att tillämpa EPQ-formeln på en sågverksindustri och därefter utvärdera lämpligheten i det. I övrigt har studien bidragit genom att kartlägga sågverksprocesser, ledtider och stopptider, för att sätta dem i perspektiv till andra studier och därmed öka kunskapen kring sågverksproduktion i Sverige.

8.2 Vidare studier

Under arbetets gång har fler frågeställningar väckts, som inte varit möjliga att utföra inom den här studien, nedan följer några förslag för kommande studier.

Utvärdera nuvarande timmerklasser. Jämföra kostnaden för att hålla ett stort råvarulager med många timmerklasser som ger ett högt utbyte i sågen, med att sortera färre timmerklasser som minskar volymen i råvarulagret.

Utforma en kartläggning över alla aktörer i värdekedjan Setra ingår i, i syfte att öka kommunikationen, förståelsen och minska det totala lagret i kedjan.

Utreda vilka möjligheter det finns att få mer specifika timmerleveranser vid specifika tidpunkter, alltså en applicering av JIT vid avverkningar och transport.

9 Referenser

- Arnström, P. & Börsholm, J. (2018). *Ledtidreducering i Produktionsflödet*. (30hp). Luleå Tekniska Universitet. [2019-09-25]
- Bennemo, K. & Stockhaus, J. (2017). *Effektivisering av materialförsörjning mellan leverantör och kund*. (15 hp). Högskolan i Gävle. [2019-11-26]
- Biometria (u.å.). *Virkesmätning. Virkesmätning*. Tillgänglig: <https://www.biometria.se/virkesmatning/> [2019-09-30]
- Broz, D., Vanzetti, N., Corsano, G. & Montagna, J.M. (2019). Goal programming application for the decision support in the daily production planning of sawmills. *Forest Policy and Economics*, (102), ss. 29–40
- Bryman, A. (2011). *Samhällsvetenskapliga metoder*. 2:1. Malmö: Liber.
- Burgman, J. (2016). *Hur nå produktionsmålen vid konverteringsenhet för kartong: Möjligheter till effektivisering*. (30hp). Sveriges Lantbruksuniversitet. [2019-09-25]
- Bygdén, J. & Johansson, H. (2014). *Värdeflödesanalys i processindustri med kontinuerlig tillverkning*. (30hp). Linköpings Universitet. [2019-09-25]
- Chopra, S. & Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management*. 6. uppl. Pearson.
- Feagin, J.R., Orum, A.M. & Sjoberg, G. (1991). *A Case for the Case Study*. UNC Press Books.
- Goetsch, D.L. & Davis, S.B. (2016). Overview of Total Quality Tools. *Quality Management For Organizational Excellence - Introduction to Total Quality*. Pearson, 8th. uppl., ss. 235–237.
- Guimier, D. & Favreau, J. (2009). FPInnovations - maximizing value from the forest. *Proceedings of Council on Forest Engineering (COFE)*, Lake Tahoe, juni 2009. Lake Tahoe
- Haartveit, E.Y., Kozak, R.A. & Maness, T.C. (2004). Supply Chain Management Mapping for the Forest Products Industry: Three Cases from Western Canada. *Journal of Forest Products Business Research*, vol. 1 (5)
- Hagberg, L., Karlsson, P.-E., Stripple, H., Ek, M. & Zetterberg, T. (2008). *Svenska skogsindustrins emissioner och upptag av växthusgaser*. (B1774). Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB. [2019-09-16]
- Hedlund, M. (2019). Furusågningen i Braviken bromsar in. *NTT Woodnet*. Tillgänglig: https://www.woodnet.se/article/view/677252/furusagningen_i_braviken_bromsar_in [2019-12-16]
- Heizer, J., Render, B. & Munson, C. (2017). *Operations Management - Sustainability and Supply Chain Management*. 12. uppl. Pearson.
- Hopp, W.J., Spearman, M.L. & Woodruff, D.L. (1990). Practical strategies for lead time reduction. *Manufacturing Review*, vol. 3 (2), ss. 78–84
- Hughes, N. (2014). *Modelling Uncertain Demand in Wood Pellet Supply Chains: A Case Study from Northern Ontario*. (Master thesis). Lakehead University. [2019-10-07]
- Huka, M.A. & Gronalt, M. (2017). Model development and comparison of different heuristics for production planning in large volume softwood sawmills. *Engineering Optimization*, vol. 49 (11), ss. 1829–1847
- Hägg, A. (2014). *Improving the Product Value Flow at Atlas Copco SED Yokohama, Japan*. (30hp). Kungliga Tekniska Högskolan. [2019-09-25]
- Iordan, C.-M., Hu, X., Arvesen, A., Kauppi, P. & Cherubini, F. (2018). Contribution of forest wood products to negative emissions: historical comparative analysis from 1960 to 2015 in Norway, Sweden and Finland. *Carbon Balance and Management*, vol. 13 (1), s. 12
- IPCC (2019). *Climate Change and Land*. (Special report) [2019-09-17]
- Khalili-Damghani, K., Shahrokh, A. & Pakgohar, A. (2017). Stochastic multi-period multi-product multi-objective Aggregate Production Planning model i multi-echelon supply chain. *International Journal of Production Management and Engineering*, vol. 5 (2), ss. 85–106
- Krajewski, L.J., Ritzman, L.P. & Malhotra, M.K. (2013). *Operation Management*. 10. uppl. Pearson.
- Kvale, S. (2006). Dominance Trough Interviews and Dialogues. *Qualitative Inquiry*, vol. Volume 12 (3), ss. 480–500
- Lambert, D.M. & Cooper, M.C. (2000). Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*, (29), ss. 65–83
- Larsson, M., Erlandsson, M., Malmqvist, T. & Kellner, J. (2016). *Byggandets klimatpåverkan*. (B 2260). Stockholm: Svenska Miljöinstitutet IVL. [2019-12-02]
- Lee, H.L., Padmanabhan, V. & Whang, S. (1997). Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect. *Management Science*, vol. 43 (4), ss. 546–558
- Little, J.D.C. (1960). A PROOF FOR THE QUEUEING FORMULA:
- Mack, N., Woodsong, C., MacQueen, K.M., Guest, G. & Namey, E. (2005). *Qualitative Research Methods: A Data Collector's Field Guide*. Family Health International.
- Markgren, F. & Lycken, A. (2001). SORTERING, REGLER OCH MORAL I SÅGVERKSMILJÖ - En diskussion om teknik, ekonomi och etik. s. 42

- Moll, S. (2019). Största barkborreangreppet på decennier väntas. *SVT Nyheter*. Tillgänglig: <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/varmland/storsta-barkborreangreppet-pa-decennier-vantas> [2019-12-16]
- Nordlund, J. (2008). *Beräkning av optimal batchstorlek på gavelspikningslinjer hos Vida Packaging i Hestra*. (20 hp). Sveriges Lantbruksuniversitet. [2019-11-21]
- Olhager, J. (2013). *Produktionsekonomi*. 2:1. Lund: Studentlitteratur.
- Petersen, A.K. & Solberg, B. (2002). Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. *Environmental Science & Policy*, vol. 2002 (5), ss. 169–182
- Petterson, T. & Nygårds, A. (2016). *Analys av material- och informationsflöden vid Gunnebo Industries fabrik i Växjö*. (30hp). Chalmers Tekniska Högskola. [2019-09-25]
- Pulkki, R. (2001). Role of Supply Chain Management in the Wise Use of Wood Resources. *The Southern African Forestry Journal*, vol. 191 (1), ss. 89–95
- Robson, C. (2011). *Real World Research*. 3. uppl. Chichester: John Wiley and sons Ltd.
- Roos, A., Flinkman, M., Jäppinen, A., Lönner, G. & Warensjö, M. (2001). Production strategies in the Swedish softwoodsawmilling industry. *Forest Policy and Economics*, (3), ss. 189–197
- Rådström, L. & Thor, M. (2014). Skogsnäringens värdekedjor. *Kungliga skogs- och lantbruksakademiens tidskrift*, vol. 153 (1)
- Setra (u.å.). *Heby. Heby*. Tillgänglig: <https://setragroup.com/sv/om-setra/vara-enheter/sverige/heby/> [2019a-09-30]
- Setra (u.å.). *I korthet. Setra Group*. Tillgänglig: <https://setragroup.com/sv/om-setra/i-korthet/> [2019b-09-30]
- Setra (u.å.). *KL-trä. KL-trä*. Tillgänglig: <https://www.setragroup.com/sv/travaror/KL-tra/> [2019c-09-30]
- Setra (u.å.). *Pyrolysolja. Pyrolysolja*. Tillgänglig: <https://setragroup.com/sv/bioprodukter/pyrolysolja/> [2019d-09-30]
- Setra Group (2018). *Grönsamhetsåret 2018*. Solna. [2019-09-26]
- Shah, R. & Ward, P.T. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, vol. 21 (2), ss. 129–149
- Shah, R. & Ward, P.T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, vol. 25 (4), ss. 785–805
- Sjödin, M. & Wikström, T. (2008). *Analys av tillgänglighet och nyttjandegrad vid Bollsta sågverk*. (30hp). Luleå Tekniska Universitet. [2019-11-26]
- Skogsindustrierna a. (2019-09-16). *Skogsindustrin i världen*. Tillgänglig: <https://www.skogsindustrierna.se/skogsindustrin/branschstatistik/skogsindustrin-i-varlden/> [2019-09-16]
- Skogsindustrierna b. (2019-09-16). *Skogsindustrins betydelse*. Tillgänglig: <https://www.skogsindustrierna.se/skogsindustrin/skogsindustrin-i-korthet/skogsindustrins-betydelse/> [2019-09-16]
- Svenskt Trä (u.å.). *Trä ett medvetet val*. Stockholm: Svenskt Trä.
- Svenskt Trä (2016-12-15). *Postning. Postning*. Tillgänglig: <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/sagverksprocessen/sagprocessen/postning/> [2019-09-26]
- Svenskt Trä (2017). *KL-trähandbok*. Stockholm: Svenskt Trä. (Handböcker för byggande i trä)
- Thunander, A. & Winberg, T. (2017). *Produktionsplanering - Cyklisk produktionsplanering med linjär programmering som vetenskapligt tillvägagångssätt gällande planering inom tillverkningsindustrin*. (15hp). Kungliga Tekniska Högskolan. [2019-09-25]
- TräGuiden a. (2017-05-15). *Paketering och lagring. Paketering och lagring*. Tillgänglig: <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/sagverksprocessen/sagprocessen/paketering-lagring/?previousState=1> [2019-09-30]
- TräGuiden b. (2017-08-15). *Sortering. Sortering*. Tillgänglig: <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/sagverksprocessen/sagprocessen/sortering/?previousState=1> [2019-09-30]
- TräGuiden c. (2017-08-15). *Sågprocessen. Sågprocessen*. Tillgänglig: <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/sagverksprocessen/sagprocessen/sagprocessen/?previousState=1> [2019-09-30]
- TräGuiden d. (2017-08-21). *Torkning. Torkning*. Tillgänglig: <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/sagverksprocessen/sagprocessen/torkning/?previousState=1> [2019-09-30]
- TräGuiden e. (2017-08-15). *Typer av sågverk*. Tillgänglig: <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/sagverksprocessen/sagprocessen/typer-av-sagverk/?previousState=1> [2019-09-30]
- Vanzetti, N., Broz, D., Corsano, G. & Montagna, J.M. (2018). An optimization approach for multiperiod production panning in a sawmill. *Forest Policy and Economics*, (97), ss. 1–8
- Vanzetti, N., Broz, D., Corsano, G. & Montagna, J.M. (2019). A detailed mathematical programming model for the optimal daily planning of sawmills. *NRC Research Press*, (49), ss. 1400–1411

- Waters-Fuller, N. (1996). The Benefits and Costs of JIT Sourcing: a Study of Scottish Suppliers. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 26 (4), ss. 35–50
- Wery, J., Gaudreault, J., Thomas, A. & Marier, P. (2018). Simulation-optimisation based framework for Sales and Operations Planning taking into account new products opportunities in a co-production context. *Computers in industry*, (94), ss. 41–51
- Yard, S. (2001). *Kalkyler för investeringar och verksamheter*. 2. uppl. Studentlitteratur AB.
- Yin, R.K. (2009). *Case Study Research - Design and methods*. 4. uppl. SAGE. (Applied Social Research Methods Series; 5)

Personlig kommunikation

Berntsson, Karl
Produktionschef sågen
Intervju 2019-09-24

Högmark, Tobias
Planerare i Heby
Intervju 2019-11-26

Hedberg, Stefan
Operatör sågen
Intervju 2019-12-05

Tallroth, Pia
Operatör justerverket
Intervju 2019-12-05

Magnusson, Pär
Operatör justerverket
Intervju 2019-12-05

Bilagor

Bilaga 1. Intervjufrågor

I syfte att utreda stopporsaker och komma fram till ett fiskbensdiagram genomfördes intervjuer med operatörer på justerverket och sågen. Intervjuerna spelades in och här återges frågorna och förkortade svar.

Justerverk

16 Frågor	17 Sammanfattade svar
18 Hur klassas ett stillestånd som stopp?	19 När det stått still i tre minuter knappas en felkod in.
20 Vilken upplever du är den vanligaste stopporsaken?	21 Stopp i inmatningen och fackdelen.
22 Vad orsakar de respektive stopporsakerna? Okodad, sortbyte, intag, fackdel (övervåning), trimmer, m.m. 23	24 Okodat stopp - Används då det är något som stoppar som inte har med produktionen att göra, till exempel för möten eller leanstopp. 25 26 Intaget - Strön fryser fast på vintern, paket som är sneda eller strön som hamnar snett. 27 28 Sortbyte - köra rent på den tidigare dimensionen, lägga in sorten i flera olika datorer, skriva rapport, kontroll mäta i mitten på första paketet. 29 Fackdelen övervåning – Sneda brädor, ej tajmade kedjor, blir ofta längre stopp. 30 31 Trimmer anslag - stort område innan fackdelen, ofta att något kommer snett eller att det händer något med anslagen eller trimmern. 32 33 Operatörsplats - plocka strön eller något kommer snett precis där man står. 34 35 Ströhanteringen - egen del och ibland behöver strön rättas till. 36 37 Huggen - oftast att knubbarna fastnar när de ska ner i huggen, kan även komma med metall efter städning. Även städning

	<p>inför uppstart av huggen får den här kodningen.</p> <p>38</p> <p>39 Fackdel undervåning - När tunga paket faller ner kan det stoppas för att damm bryter fotocellerna, händer även att den tömmer två fack samtidigt och då stannar bandet.</p> <p>40</p> <p>41 Fulla fack - Ofta vid sortbyten, då facken ska tömmas eller då paketeringen inte hinner med.</p>
42 Hur har ni kontroll över produktionen?	43 Vid operatörsplatsen finns flera skärmar, för att kunna se hela produktionen. Man hinner inte alltid stoppa innan det väl blir stopp.
44 Har du några åtgärdsförslag?	<ul style="list-style-type: none"> • Fackdelen, kedjorna är inte i linje och det finns vissa öppningsproblem, kolvar som inte funkar som de ska. 45 • Vid intaget kan man ha en till person vid tilten, för att hjälpa till att få loss ströna. 46 • Knappa in i en eller två datorer, istället för fyra till fem vid sortbytet. Nu tar personalen även ut alla rapporter vid sortbytet (sköttes av ansvarig tidigare). 47 • Det har gått att köra klenare dimensioner bra, men anläggningen är sliten. Inställningar och reparationer. 48 • Att det ska finnas personal för alla funktioner på båda skiften, så inte vissa saker läggs bara på det ena skiftet. 49
50 Finns några åtgärder till problemen som nämnts för de olika områden? 51	<p>52 Justera kedjor</p> <p>53 Se över kolvarna</p> <p>54 Luckor för damm är inte helt täta</p> <p>55</p>
56 Hur sker underhållet?	57 Lagning av det som gått sönder, förebyggande i form av städning och smörning. På Lean-stoppen sker städning och de reparationer som anmälts. Svårt att hinna med underhåll då det körs nattskift. Diskuterats om mer kontroller, t.ex. halvårsvis.

	58
59 Skulle ni kunna säga att de här stopporsakerna är representativa för flera sortiment?	60 Lika överlag, de mindre dimensionerna medför fler stopp och de större dimensionerna medför långa stopp när det väl händer något.

Sågverk

61 Frågor	62 Sammanfattade svar
63 Hur registreras ett stopp?	64 Stopptidsregistrering sker vid sågstolen, felkod måste tryckas in efter 60 sekunder.
65 Vilken upplever ni är den vanligaste stopporsaken?	66 På det stora området innan sågen, intag och barkning, för till exempel kraning och stopp i barkmaskinen.
67 Huvudstoppen såg: Stopporsak ej angiven, start/stopp, transport timmer/sågintag m.m. 68	69 Start/avslut - Leanstopp som sker 10–15 min varje morgon. 70 71 Transportör/timmer – ett stort område, från timmerbord till sågen, ofta sned stock in i barkhuse ler intag. 72 73 Reducerare – ofta för grov stock som går in för fort. 74 75 MKV, brädavsläpp – oftast att det fastnar en bräda. 76 77 Dimensionsbyte – den tid det tar att byta klinga. 78 79 Råsortering – även det ett stort område, så svårt att säga något specifikt. 80 81 Okodad tid – Jag vet inte vad som klassas som det, det finns ingen knapp för okodad tid. 82 83 Plankavlägg – det är förmodligen bättre idag, åtgärder har utförts under det senaste året. 84 85 Huggen – ofta någon mutter eller bult som åker ner och metalldetektorn löser ut. 86 87 Profilerare 2 - något fastnar. 88 89 Vändare – att den missat att vända ett block, vilket då måste utföras manuellt. 90

	<p>91 Kling (MKV), verktygsbyte – oftast att det fastnar något i VS-avsläpp eller att en klinga behöver bytas.</p> <p>92</p> <p>93 Profilerare 1 - något fastnar.</p> <p>94</p> <p>95 Barkmaskin - något fastnar.</p>
96 Har det utförts något underhåll, så att fördelningen mellan stopporsaker förmodligen inte ser lika ut idag som 2018?	97 Plankavlägget är förmodligen bättre, för kedjorna har bytts och omprogrammering utförs nu.
98 Ser du några möjliga åtgärder för att minska stopptiden?	99 Vi har rätt bra koll på var det är problem och jobbar med dem kontinuerligt, vi är en grupp som kollar extra på MKV:n nu.
100 Skulle ni kunna säga att de här stopporsakerna är representativa för flera sortiment?	101 Ja, det är inga speciella dimensioner till Långshyttan.
102 Är det några säsongsvariationer i stopporsakerna?	103 På vintern förekommer fler stopp när stockarna är frusna, maskinerna får inte samma grepp och verktyg går lättare sönder.

Examensarbeten / Master Thesis
Inst. för skogsekonomi / Department of Forest Economics

1. Lindström, H. 2019. Local Food Markets - consumer perspectives and values
2. Wessmark, N. 2019. Bortsättning av skotningsavstånd på ett svenskt skogsbolag - en granskning av hur väl metodstandarderna för bortsättningsarbetet följts
3. Wictorin, P. 2019. Skogsvårdsstöd - växande eller igenväxande skogar?
4. Sjölund, J. 2019. Leveransservice från sågverk till bygghandel
5. Grafström, E. 2019. CSR för delade värderingar - En fallstudie av kundperspektiv hos skogs- och lantbrukskunder inom banksektorn
6. Skärberg, E. 2019. Outsourcing spare part inventory management in the paper industry - A case study on Edet paper mill
7. Bwimba, E. 2019. Multi-stakeholder collaboration in wind power planning. *Intressentsamråd vid vindkraftsetablering*
8. Andersson, S. 2019. Kalkylmodell för produkter inom korslimmat trä - Fallstudie inom ett träindustriellt företag. *Calculation model for products within cross-laminated timber - A case study within a wood industrial company*
9. Berg Rustas, C. & Nagy, E. 2019. Forest-based bioeconomy - to be or not to be? - a socio-technical transition. *Skogsbaserad bioekonomi - att vara eller inte vara? - En socio-teknisk övergång*
10. Eimannsberger, M. 2019. Transition to a circular economy - the intersection of business and user enablement. Producenters och konsumenters samverkan för cirkulär ekonomi
11. Bernö, H. 2019. Educating for a sustainable future? - Perceptions of bioeconomy among forestry students in Sweden. *Utbildning för en hållbar framtid? - Svenska skogsstudenters uppfattningar av bioekonomi*
12. Aronsson, A. & Kjellander, P. 2019. Futureshandel av rundvirke - Möjligheter och hinder för en futureshandel av rundvirke. *A futures contract on roundwood - Opportunities and barriers for a futures trade on roundwood*
13. Winter, S. 2019. Customers' perceptions of self-service quality - A qualitative case study in the Swedish banking sector. *Kundernas uppfattning om självbetjäningens kvalitet*
14. Magnusson, K. 2020. Riskanalys av hybridlärk (*Larix X marschlinsii*) - Möjligheter och problem. *Risk analysis of hybrid larch (Larix X marschlinsii) - Opportunities and problems*
15. Gyllengahm, K. 2020. Omsättningslager för förädlade träprodukter - en avvägning mellan lagerföring - och orderkostnad. *Levels of cycle inventory for processed wood products - a trade-off between inventory - and order cost*
16. Olovsson, K. 2020. Ledtider i sågverksindustrin – en analys av flöden och processer. *Lead times in the sawmill industry – an analysis of flows and processes*